

Электротехника, 2017, №11, стр.2

Пермской энергосистеме - 75 лет!

КОСТЫГОВ А.М.

Электротехника, 2017, №11, стр.3-6

Нейро-нечеткое управление процессом подачи проволочного материала в аддитивных технологиях семейства FDM

БЕЗУКЛАДНИКОВ И.И., ХИЖНЯКОВ Ю.Н., ЮЖАКОВ А.А.

3DFDM-печать является одной из наиболее распространенных аддитивных технологий.

Типовой печатный узел, состоящий из устройства подачи материала и печатной головки обладает рядом существенных недостатков, связанных с отсутствием контроля за базовыми параметрами экструзии. Единственным контролируемым параметром является температура нагрева. В статье рассматривается альтернативный подход, основанный на мультиагентном подходе и элементах нечеткой и нейро-нечеткой логики, позволяющий за счет введения дополнительных обратных связей и одновременного учета нескольких базовых параметров повысить качество экструзии материала, уменьшить влияние качества исходного проволочного материала на конечный результат 3D-печати.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, FDM-технологии, нечеткая логика, нейронные сети, нейро-нечеткое-управление.

FDM-based on 3D-printing is one of the most common kind of the additive technologies. A typical printing unit consisting of a material feeding device and a printing head has a number of significant drawbacks associated with the lack of control over the basic parameters of extrusion. Basically, the only controlled parameter is the heating temperature. The article considers an alternative view on the problem, based on the multi-agent approach and on the elements of fuzzy and neural-fuzzy logic, which allows, through the introduction of additional feedbacks and simultaneous consideration of several basic parameters, to improve the quality of material extrusion, and to reduce the influence of the wire material quality on the final 3D printing result.

Key words: additive technologies, 3D-printing, FDM-technologies, fuzzy logic, neural networks, neural-fuzzy control.

Оптимизация энергопотребления режущего инструмента станка с ЧПУ при наличии трудно формализуемых ограничений

ФАЙЗРАХМАНОВ Р.А., МУРЗАКАЕВ Р.Т., ПРИСТУПОВ В.С., ПОЛЯКОВ А.Н.

Энергопотребление режущего инструмента станка с ЧПУ во многом определяется маршрутом инструмента и зависит от длины холостых и рабочих перемещений, а также количества точек врезки. Как правило, для уменьшения энергопотребления необходимо минимизировать все эти параметры, но полученные при этом маршруты не всегда технологически допустимы, что может привести к появлению бракованных изделий и поломке оборудования. В статье рассмотрено автоматическое формирование технологически допустимого маршрута с минимальным энергопотреблением.

Формирование маршрута разделено на два этапа: выбор порядка обработки деталей и выбор точек врезки (входа/выхода) инструмента. Выбор последовательности резки основывается на правилах обнаружения полостей материала (карманов), образованных контурами деталей, путем использования геометрических центроидов и выпуклых оболочек контуров резки. Выбор точек врезки осуществляется одной из нескольких реализаций алгоритма интервального перебора в зависимости от количества раскраиваемых деталей. Рассмотрены ограничения при резке и приведены примеры образования карманов. Ограничения представлены в виде стека правил, формализующих спорные ситуации при резке. Критерием оптимизации является минимум общего времени резки. Применение метода штрафных функций позволило отбросить решения, приводящее к образованию карманов. Приведена общая схема алгоритма и рассмотрен пример его работы.

Ключевые слова: станки с ЧПУ, режущий инструмент, технологические ограничения, раскрой материала, маршрутизация.

The cutting tool power consumption of the CNC machine is largely determined by its route and depends on the idle and working movement length, and also on the count of insertion points. Usually to reduce it, it is necessary to minimize all three parameters, but the resulting routes are not always technologically possible that could lead to defective products and damage of equipment. In this article the automatic generation of a technologically correct route is shown, which usually prevails over the traditional tasks of minimizing the idle and working run of the cutting tool. The routing task is divided into two stages: selecting the sequence of cut processing and selecting the insertion points on details. The choice of the sequence is based on the rules for detecting the pockets of material by using geometric centroids and convex shells of the cutting

contours. The choice of insertion points is carried out by using one of several realizations of interval search algorithm, depending on the count of cutting contours. Constraints in cutting and examples of pockets creation are considered. Constraints are presented as a stack of rules that formalize controversial situations of cutting. The criterion is the minimization of the total cutting time. The application of the method of penalty functions allowed to discard the solutions leading to the formation of pockets. The general scheme of the algorithm is given and an example of its working is shown.

Key words: CNC machine, cutting tool, technological constraints, material cutting, routing.

Электротехника, 2017, №11, стр.11-13

Исследование напряженности электрического поля проводов воздушной линии 500кВ

ТРУФАНОВА Н.М., БОРОДУЛИНА К.В., ДЯТЛОВ И.Я.

Методом математического моделирования электрического поля проводов АС воздушной линии (ВЛ) 500кВ и численного анализа с использованием метода конечных элементов в среде Ansoft Maxwell получены напряженности электростатического поля. Исследование выполнено с учетом неравномерности поверхности провода воздушной линии и с учетом неоднородной поверхности последнего повива. Последнее приводят к местному увеличению напряженности поля, что в свою очередь вызывает потери полезной мощности. Для снижения напряженности на проводах воздушных линий используют расщепление фаз. При этом уменьшается напряженность на отдельном проводе, и как следствие, снижаются потери активной мощности на коронный разряд и индуктивное сопротивление линии. Таким образом, для уменьшения потерь мощности на проводах и продления их срока службы необходимо правильно выбирать сечение проводов и вид расщепления фазы. Разработана двумерная математическая модель электростатического поля ВЛ, учитывающая неоднородность формы поверхности провода. Рассмотрено аналитическое решение исходной задачи и выполнено сравнение численных и аналитических результатов для цилиндрической поверхности провода. Исследованы поля для четырех вариантов провода АС с различными вариантами расщепления. Построены кривые напряженности поля у поверхности проводника в зависимости от сечения и количества проводов в фазе ВЛ.

Ключевые слова: высоковольтная воздушная линия, напряженность электрического поля, метод конечных элементов, провода, расщепление фазы.

In the work, the distribution of the electrostatic field strength were obtained on the basis of mathematical modeling of the electric field of AC wires] 500 kV air line (AL) and numerical analysis using the finite element method in the Ansoft Maxwell. The study was carried out taking into account the unevenness of the wire surface of the air line, taking into account the inhomogeneous surface of the last coil. Phase splitting is used to reduce the electrical strength on the air lines. In this case, the strength on a separate wire decreases, and as a consequence, the losses of active power to the corona discharge and the inductive resistance of the line decrease. Thus, in order to reduce the power losses on the wires and prolong their service life, it is necessary to carry out the correct selection of the wire cross-section and the type of phase splitting. To study the electric field of the AL, a two-dimensional mathematical model of the electrostatic field for a high-voltage air line was developed. It taking into account the unevenness of the shape of the wire surface. An analytical solution of the original problem was considered and a comparison of the obtained numerical and analytical results for the case of a cylindrical wire surface was made to confirm the adequacy of the developed model. The strength fields for four marks of the AC wire with different splitting versions are investigated. As a result of the study, electric field patterns were obtained for each of the four marks and different types of splitting. Curves were plotted for the field strength at the conductor surface as a function of the cross section and the number of wires in the phase of the AL. The results of the study were compared with the analytical solution of the problem, which was carried out according to the methods.

Key words: high-voltage air line, strength of electric field, finite element method, wires, phase splitting.

Электротехника, 2017, №11, стр.14-18

Параллельная работа трёхобмоточного и двухобмоточного трансформаторов с разными коэффициентами трансформации

РОМОДИН А.В., КУЗНЕЦОВ М.И.

В практике эксплуатации электроэнергетических систем часто возникает задача дробления установленной на подстанциях трансформаторной мощности, которая, как правило, предполагает установку вместо одного двух и более параллельно соединённых трансформаторов, имеющих ту же суммарную мощность. При такой замене возникает

проблема равномерного распределения нагрузки между трансформаторами. При использовании одинаковых по мощности и конструктивно подобных трансформаторов равномерность распределения достигается автоматически в силу симметрии параллельных цепей. Однако, если параллельно включаются трансформаторы с разным конструктивным исполнением и имеющие различные коэффициенты трансформации, то равномерность распределения мощности между трансформаторами нарушается. С увеличением общего тока нагрузки при параллельном включении двухобмоточного (I) и трёхобмоточного (II) трансформаторов вторичный ток трансформатора I возрастает, так же, как и первичный ток, а первичный и вторичный токи трансформатора II уменьшаются. При этом общий ток из сети меньше тока первичной обмотки трансформатора I. С увеличением тока нагрузки вторичный ток трансформатора I возрастает, а вторичный ток трансформатора II уменьшается. При наибольшем значении вторичного тока трансформатора II вектор первичного тока этого трансформатора опережает вектор напряжения более чем на 90° . При этом трансформатор II потребляет активную мощность вторичной обмоткой от трансформатора I и отдаёт её своей первичной обмотке.

Ключевые слова: трёхфазные трансформаторы, параллельная работа, коэффициент трансформации, активная мощность, ёмкостной эффект.

Overthrow process during the parallel operation of triple-wound transformer (II) and the double-wound transformer (I) due to capacitive effect is experimentally shown in article. In practice of operation of electropower systems often there is a problem of crushing of the transformer capacity established on substations which, as a rule, assumes installation instead of one two and more in parallel the connected transformer, having the same total capacity. At such replacement there is a problem of a uniform distribution of loading between transformers. In case of use identical on capacity and structurally similar transformers uniformity of distribution is reached automatically owing to symmetry of shunt circuits. However, if transformers with a different design and having various transformation ratios automatic uniformity of a power division between transformers changes in parallel join. With increase of the total load current, in case of parallel operation of the double-wound (I) and the triple-wound transformers, secondary current of the double-wound transformer increases as a primary current, while primary and secondary currents of the triple-wound are decrease. In this case, the total network current is less than the double-wound transformer primary winding current. With increase of loading current, the transformer (I) secondary current increases, and the transformer (II) secondary current decreases. At the highest value of the triple-wound transformer secondary current, the primary current

vector of this transformer outstrips the voltage vector by more than 90° . In this operational state the transformer (II) consumes active power by secondary winding from the transformer (I) and it returns to its primary winding.

Key words: three-phase transformers, transformation ratio, parallel operation, active power, capacitive effect.

Электротехника, 2017, №11, стр.18-24

Развитие вероятностно-статистических методов идентификации зашумлённых переходных процессов синхронных машин

СУДАКОВ А.И., ЧАБАНОВ Е.А., КАМЕНСКИХ И.А.

Зашумлённые переходные процессы (ПП) в обмотках статора синхронных машин (СМ) в опытах внезапного симметричного КЗ, гашения поля, восстановления напряжения, ударного возбуждения и других особенно уязвимы при их идентификации по результатам стендовых испытаний методами действующих стандартов на испытания синхронных машин. Методы обработки таких процессов в соответствии с отечественными и зарубежными стандартами перегружены трудоёмкими графическими процедурами и расчётами по данным осциллограмм. Эти методы до настоящего времени не позволяют достичь необходимой точности обработки ПП из-за значительного разброса результатов по их идентификации. Опыт внезапного КЗ является центральным из всех переходных процессов, так как он является асимметричным и содержит наибольшее количество составляющих токов в обмотках статора СМ. Следовательно, этот опыт потенциально перспективен для поиска путей обеспечения высокой точности и достоверности идентификации ПП. Другие перечисленные выше ПП являются симметричными, поэтому их точная идентификация достигается аналогично опыту внезапного КЗ. Разработанные вероятностно-статистические методы идентификации ПП во многом решают существующие проблемы. В статье рассмотрены новые возможности развития этих методов с эффективным использованием вариационных рядов случайного признака с обнаруженным ядром эффективных точечных выборок. Эти возможности повышают точность и достоверность результатов идентификации указанных ПП, снижают трудоёмкость исследований случайного признака в исследуемом диапазоне ПП с переходной составляющей при обработке длительных ПП мощных СМ.

Ключевые слова: синхронные машины, переходные процессы, вероятностно-статистических методы, критерий хи-квадрат, распределение Пуассона, идентификация.

Noisy transient processes (TP) in the stator windings of synchronous machines (SM) in the experiments of a sudden symmetrical short circuit (SC), dissipation of the field, voltage recovery, shock excitation and others are especially vulnerable when they are identified by the results of bench tests using the current standards for testing SM. Methods of processing such fast-flowing TP according to domestic and foreign standards are overloaded with numerous time-consuming graphic procedures and calculations from oscillograms. These methods up to the present time do not allow to raise the accuracy of processing of PP due to a considerable scatter of the results of their identification. The sudden SC of SM experience is central of all transient processes, since the processes in this experiment are asymmetric and contain the largest number of current components in the SM stator windings. Therefore, this experiment makes it possible to obtain the greatest number of parameters and a number of important quantities for SM. Consequently, the sudden SC experience is potentially promising for finding ways to ensure high accuracy and reliability of TP identification. The rest of the TPs listed above are symmetrical without an asymmetric component, so their exact identification is decided in a manner similar to the SC experience. The developed probabilistic-statistical methods (PSM) of PP identification largely solve existing problems. The article presents new possibilities of PSM for the development of high-noise TPs with the effective use of variational series of a random feature with the detected nucleus of effective point samples. These capabilities increase the accuracy and reliability of the identification results of these PPs, reduce the laboriousness of studies of a random features in the investigated range of TP with a transition component in the processing of long-term TPs of powerful SMs.

Key words: synchronous machines, transient processes, probabilistic and statistical methods, criterion chi-square, Poisson distribution, identification.

Электротехника, 2017, №11, стр.25-29

Система мониторинга и проактивного управления группой компрессоров

КОСТЫГОВ А.М., КЫЧКИН А.В.

Рассмотрены вопросы повышения эффективности работы группы компрессоров, состоящей из двух подгрупп поршневых машин различной мощности, а также винтового компрессора, обеспечивающих сжатым воздухом технологические процессы крупного промышленного предприятия, специализирующегося на выпуске строительных

материалов. В связи с большим числом потребителей, работа которых слабо согласована между собой, особенностями технологии, требующей кратковременных, но больших расходов воздуха, и режимами эксплуатации электроприводов поршневых агрегатов, предусматривающих минимальное число включений, предусматривается автоматизированный мониторинг энергетических параметров и проактивное управление компрессорами. Для этого в состав управляющего программно-аппаратного комплекса распределенной архитектуры введены блоки интеллектуального анализа энергетических и технологических параметров. Система фиксирует изменение самих параметров, а также первых производных, после чего полученные оценки сопоставляются с имеющимися в базе данных прецедентами. С учетом рассчитанных на основе статистики целевых функций электропотребления каждого компрессора из группы, а также выбранного прецедента – правила включения машин для текущей ситуации с учетом ее динамики, формируется сигнал управления для устройств пуска. Минимизация удельного потребления электроэнергии всей группой достигается за счет выбора оптимального сочетания работающих поршневых компрессоров с автоматическим подключением винтового компрессора для более точного регулирования технологических параметров.

Ключевые слова: энергетический мониторинг, проактивное управление, компрессор, энергетическая эффективность.

The problems of increasing the efficiency of the work of a group of compressors consisting of two subgroups of reciprocating machines of various capacities as well as a screw compressor providing compressed air to the technological processes of a large industrial enterprise specializing in the production of building materials are considered. Due to the large number of consumers whose work is poorly coordinated among themselves, the features of the technology that requires short-term but high airflow and operating modes of 6 kV electric drives of piston units that provide the minimum number of inclusions, automated monitoring of energy parameters and proactive control of compressors are implemented. For this purpose blocks of intellectual analysis of energy and technological parameters were introduced into the structure of the managing software and hardware complex of the distributed architecture. The system captures the change in the parameters themselves, as well as the first derivatives, and then compares the obtained estimates with the precedents available in the database. Taking into account the electric power consumption of each compressor from the group calculated according to the statistics, as well as the selected precedent - the rules for switching on machines for the current situation, taking into account its dynamics, a control signal is generated for the start devices. Minimization of specific energy consumption by the whole group is achieved by

choosing the optimal combination of working reciprocating compressors with automatic connection of a screw compressor for more precise adjustment of process parameters.

Key words: energy monitoring, proactive control, compressor, energy efficiency.

Электротехника, 2017, №11, стр.30-33

Энергосберегающая технология управления перегрузочными процессами на основе компьютерного тренажерного комплекса

ФАЙЗРАХМАНОВ Р.А., ПОЛЕВЩИКОВ И.С., ХАБИБУЛИН А.Ф., ШКЛЯЕВ Ф.И.

Рассмотрена проблема энергоэффективного управления электроприводами перегрузочной машины и обучение оператора этой технологии при помощи компьютерного тренажерного комплекса. Энергопотребление перегрузочной машины определяется характером управляющих воздействий оператора, динамическими характеристиками приводов, режимами их использования, что связано с уровнем профессиональной подготовки оператора. Неоправданно резкие ускорения и торможения повышают износ электромеханического оборудования и вызывают дополнительные затраты электроэнергии. Энергосберегающая технология управления перегрузочной машиной основана на представлении работы оператора в виде функционально полного множества задач (упражнений), формально представляемых в виде множества задач оптимального управления электроприводом. Решение этих задач формирует систему желаемых траекторий и управлений, используемых в качестве советующих воздействий в тренажерном комплексе при выполнении системы упражнений. Представлены результаты разработки компьютерного тренажерного комплекса (КТК) операторов перегрузочных машин, обучение на котором позволяет сформировать навыки энергосберегающего управления технологическим оборудованием. Формирование профессиональных сенсомоторных навыков с применением КТК осуществляется путем выполнения обучаемым комплекса упражнений, имитирующих реальные технологические операции перегрузочного процесса. КТК обеспечивает накопление, хранение и обработку данных о приобретении обучаемыми профессиональных знаний и навыков. Приведены структура системы управления формированием навыков, как компонента КТК и её взаимосвязь с компьютерным тренажером (имитатором перегрузочного процесса).

Ключевые слова: энергосберегающая технология, компьютерный тренажерный комплекс, профессиональные навыки.

The paper considered the problem of energy-efficient control of handling machine's electric

drives. The type of an operator control actions, dynamic characteristics and operating modes of the drives affect the power consumption of the handling machine. Therefore, the level of operator professional training is very important. Sharp acceleration and braking increase the wear of electromechanical equipment and cause additional energy costs. The work of the operator is represented as a set of exercises. These exercises consist of tasks of electric drive optimal control. This is the basis for the energy-saving control technology of the handling machine. Desired trajectories and controls are the solution of these problems. It used as advises or hints in the training complex while operator performs an exercise. We presented the results of the development of a computer training complex (CTC) for handling machines operators. training With CTC allows to form skills of energy-saving control. The trainee performs a set of exercises that simulates real technological operations of the handling process, thereby forming professional sensorimotor skills. The CTC accumulates, stores and processes data about trainees' professional knowledge and skills. The article contains the structure of the skills management system and its relationship to the computer simulator.

Key words: energy-saving technology, computer training complex, professional skills.

Электротехника, 2017, №11, стр.33-37

Численное исследование эффективности цилиндрического электромагнитного экрана

ЩЕРБИНИН А.Г., МАНСУРОВ А.С.

Электромагнитные экраны находят широкое применение для защиты электротехнических устройств и кабельных линий от воздействия электрических и магнитных полей естественного или искусственного происхождения. Предложена трехмерная математическая модель сплошного цилиндрического экрана для защиты от действия переменного электромагнитного поля, созданного внутри кабеля. Модель построена в программном продукте ANSYS HFSS с использованием метода конечных элементов. Рассмотрены два источника электромагнитного поля: помехи, внутренний проводник (жила кабеля) и коаксиальная цепь, в которой экран является внешним рабочим проводником. Распределение электромагнитного поля в кабеле описывается уравнениями Максвелла, которые преобразуются в векторное уравнение Гельмгольца относительно электрической составляющей поля для применения метода конечных элементов. Электромагнитные параметры рассматриваемых сред постоянны и изотропны. Исследования экранирующих свойств проведены для медного цилиндрического экрана в

диапазоне частот 1-100 МГц. В результате математического решения получены распределения напряженностей электромагнитного поля в модели. Для оценки экранирующих свойств кабеля использовались сопротивление связи и затухание экранирования. Адекватность модели и методики определения эффективности экранирования подтверждены путем сравнения полученных результатов с результатами аналитической модели.

Ключевые слова: электромагнитный экран, математическая модель, метод конечных элементов, ANSYS HFSS.

Electromagnetic shields are often used to protection of electrotechnical devices and cable lines against influence electric and magnetic fields a natural and man-made origin. A three-dimensional mathematical model of the operation of a solid cylindrical shield for protection against the action of an alternating electromagnetic field created inside the cable is proposed. The mathematical model is constructed in the software product ANSYS HFSS, used for numerical solution of the finite element method. Two sources of electromagnetic interference field, inner conductor and coaxial cable are considered. In a coaxial cable, the screen is an external working conductor. The electromagnetic field in the cable is described by two Maxwell equations, which are transformed into the Helmholtz vector equation with respect to the electric field component for applying the finite element method. Electromagnetic parameters of the considered environments are constant and isotropic. Research of shielding characteristics is conducted for the copper cylindrical screen in the range of the frequencies of 1-100 MHz. As a result of the mathematical decision, distributions of strengths of the electromagnetic field in the model are received. For an assessment of the shielding properties of a cable used the following parameters: transfer impedance and shielding effectiveness. Confirmation of the adequacy of the developed mathematical model and methodology for determining the efficiency of the screening conducted by comparing the results obtained with the results of the analytical model of the copper cylindrical screen.

Key words: electromagnetic shield, mathematical model, finite element method, ANSYS HFSS.

Электротехника, 2017, №11, стр.37-42

О расчете коэффициента трансформации при компьютерном моделировании электроэнергетических систем произвольной конфигурации

ТАРАСОВ В.А., ЛЕЙСЛЕ А.Г., ПЕТРОЧЕНКОВ А.Б.

Рассматривается алгоритмическая реализация возможности расчета переходных процессов в электроэнергетической системе произвольной топологии с учетом коэффициентов трансформации входящих в систему трансформаторов. Эта проблема возникает при расчете динамических режимов, так как в разные моменты времени структура электроэнергетической системы может быть различной. Ключевым вопросом расчета электроэнергетической системы произвольной конфигурации является использование в схеме таких элементов, как трансформаторы (поскольку заранее не известны уровни напряжений в той или иной части системы). Задача может быть решена, если сопоставить с каждой ветвью схемы дерево трансформаторов, которое влияет на уровень напряжения ветви. Такой метод аналогичен методу сопоставления деревьев ключей каждой ветви. При формировании матриц узловых проводимостей и задающих токов используется топологический список, основанный на принципе поэлементного вклада. Основными достоинствами метода на основе топологического списка являются отсутствие необходимости соблюдения порядка нумерации строк и его высокая алгоритмичность, что обеспечивают сведение к минимуму вычислительных затрат при составлении уравнений на ЭВМ. Чтобы определить коэффициент трансформации для ветви, необходимо осуществить проход в глубину по любому из плеч дерева трансформаторов до последнего листового элемента, последовательно умножая коэффициенты трансформации встретившихся трансформаторов. Получение полного дерева трансформаторов может использоваться при проверке правильности подключения трансформаторов в схеме. Рассматриваемый подход в свете развития информационных технологий позволяет автоматизировать не только отдельные тематические этапы проектирования, но и учитывать аспекты моделирования взаимодействия электротехнического оборудования в электроэнергетической системе, построения систем диспетчеризации, экономического планирования, оценки рисков отказов оборудования, и др.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, трансформаторы, коэффициент трансформации, топологический список, схема, ветвь, узел, дерево.

The algorithmic realization of the possibility of calculation of transient processes in the electric power systems of any topology is considering, taking into account the transformation coefficients of transformers of the electric power systems. This problem can occur when calculating the dynamic modes, as at different times of electric power system structure may be

different. The key problem of calculating the electric power system of any configuration is used in the circuit elements such as transformers (because not known in advance the voltage levels in different parts of the system). This problem can be solved, if to compare with each branch of the schema tree transformers, which affects the voltage level of the branches. This method is similar to the method of mapping trees of keys each branch. In forming the matrix of nodal conductances and currents used by specifying the topological list, based on the principle of element by element contribution. The key advantages of the method based on the topological list are a lack of the need to respect the order of line numbering, and its high algorithmic that allow minimizing the computational effort in compiling the equations on a computer. To determine the transformation coefficient for the branches, it is necessary to carry out the passage in depth on any of the arms of the tree transformer to the last leaf element, sequentially multiplying the transformation coefficients encountered transformers. Full transformers tree can be used to check the correct connection of transformers in the circuit. The approach in tendency of the development of information technologies allows to automatize not only individual thematic stages of design, but also to take into account the modeling of interactions of electrical equipment in the electric power system, generation scheduling, economic planning, risk assessment, equipment failure, etc.

Key words: electric power systems , transformers, transformation coefficient, topological list, scheme, branch, node, tree.

Электротехника, 2017, №11, стр.43-46

Адаптивное управление частотой вращения газотурбинной установки с настраиваемой моделью

КАВАЛЕРОВ Б.В., БАХИРЕВ И.В., КИЛИН Г.А.

В статье исследуются способы адаптивного управления газотурбинными установками, входящими в состав газотурбинных электростанций. Основные качественные и количественные показатели работы этих установок зависят от системы автоматического управления. При автономной работе газотурбинной электростанции частота электроэнергии напрямую зависит от частоты вращения турбины газотурбинной установки, соединенной через редуктор с валом синхронного генератора. Зачастую современные системы адаптивного управления разрабатываются на основе авиационных систем автоматического управления и не учитывают особенностей изменения нагрузки при производстве электроэнергии. Это приводит к тому, что показатели качества

электроэнергии по частоте, такие как максимальное отклонение и время восстановления, не всегда соответствуют требованиям ГОСТ. Целью исследования является повышение качества электроэнергии по частоте при автономном режиме работы газотурбинной электростанции. Рассматриваются способы сигнального адаптивного управления с эталонной и настраиваемой моделями. Приведены структуры эталонной и настраиваемой моделей и метод идентификации в реальном времени. Показано место модуля адаптации в общей структуре системы автоматического управления газотурбинной установки. Приведены результаты математического моделирования, подтверждающие эффективность метода.

Ключевые слова: газотурбинная электростанция, газотурбинная установка, адаптивное управление, эталонная модель, настраиваемая модель.

In this article, the methods of adaptive control of gas turbine units that are part of gas turbine power plants are being studied. The main qualitative and quantitative indicators of the operation of gas turbine plants depend on the automatic control system. In the autonomous operation of a gas turbine power plant, the frequency of electricity directly depends on the rotational speed of the turbine of the gas turbine plant connected via a reducer to the synchronous generator shaft. Often, modern adaptive control systems are developed on the basis of aeronautical automatic control systems, and do not take into account the peculiarities of load changes in the production of electricity. This leads to the fact that the power quality indicators for frequency, such as maximum deviation and recovery time, do not always meet the requirements of GOST. The purpose of the study is to improve the quality of electricity by frequency in the autonomous mode of operation of a gas turbine power plant. Methods of signal adaptive control with reference and adaptive models are considered. The structures of the reference and customizable models and the method of identification in real time are presented. The place of the adaptation module in the general structure of the automatic control system of the gas turbine plant is shown. The results of mathematical modeling confirming the effectiveness of the method are presented.

Key words: gas turbine power plant, gas turbine unit, adaptive control, reference model, adaptive model.

Электротехника, 2017, №11, стр.47-50

Расширение класса линейных интервальных ограничений для управляющих задач

реального времени

КАВАЛЕРОВ М.В.

Рассмотрена проблема формирования ограничений реального времени для систем управления. Представлен пример управляющей задачи, для которой сформировано ограничение реального времени. Показано, что этот вид ограничений не входит в ранее предложенный класс линейных интервальных ограничений. Предложен новый класс ограничений реального времени для управляющих задач, который является расширением класса линейных интервальных ограничений.

Ключевые слова: ограничения реального времени, управляющие задачи, планирование задач, периодические задачи, линейные интервальные ограничения.

The problem of timing constraints formation for control systems is considered. An example of control tasks is shown, and the timing constraint is formed for this task. It is stated that this type of timing constraints is not in the class of linear interval timing constraints that has been presented earlier. A new class of timing constraints for control tasks is proposed, and this class is the extension of the class of linear interval timing constraints..

Key words: timing constraints, control tasks, tasks scheduling, periodic tasks, linear interval timing constraints.

Электротехника, 2017, №11, стр.50-54

Комбинированные линейные электродвигатели для робототехнических систем ТИУНОВ В.В.

Рассмотрены принципы построения, конструкции и характеристики специальных линейных электроприводов на основе комбинированных линейных асинхронных двигателей (КЛАД) для перемещения робототехнических тележек в герметичных радиационных камерах. Существовавшие системы были снабжены редукторными двигателями с кабельным питанием или цепными конвейерами, а также применялись механизмы электромагнитной связи. Иногда в подобных системах используются обычные ЛАД со сложными системами управления или преобразователями частоты. Предложенная структура электроприводов на базе КЛАД намного проще и надежнее. Эти двигатели состоят из индукторных двигательных блоков и тормозных блоков на основе постоянных магнитов. Действуя совместно, эти блоки позволяют получить низкую скорость движения

тележек без использования какой-либо сложной системы управления или преобразователя частоты. Экспериментальные исследования и промышленная реализация показали эффективность применения предлагаемых специальных КЛАД, использование которых улучшает показатели и надежность оборудования для радиоактивной среды.

Ключевые слова: робототехнические системы, линейные электродвигатели, манипуляторы, производственные системы, оборудование для радиоактивной среды, радиационная безопасность.

This article deals with the principles of constructing and characteristics of special linear electric drives based on combined linear induction motors (CLIMs) for nuclear robots-equipped facilities trolleys' movement inside the sealed chambers. The existing facilities have cable fed motors with reducers, or chain conveyors, or electromagnetic coupling mechanisms. Sometimes, the facilities have the ordinary linear induction motors with complicated and not reliable control systems or frequency converters. The proposed structure of electric drives on the base of combined linear induction motors is much more simple and reliable. The special combined linear AC motors consist of inductors' blocks for moving and permanent magnets blocks for the secondary braking, providing together the necessary low speed of trolleys' movement without usage of any control system, or a frequency converter. The experimental investigations and industrial implementation have shown the efficiency of application of proposed special linear induction motors which have been designed to improve nuclear facilities.

Key words: robotic systems, linear electric drives, manipulators, manufacturing systems, nuclear robots-equipped facilities, radiation safety.

Электротехника, 2017, №11, стр.55-60

Компьютерный комплекс для испытаний газотурбинных электростанций

ТАРАСОВ В.А., ПЕТРОЧЕНКОВ А.Б., КАВАЛЕРОВ Б.В.

Структурный и параметрический синтез систем автоматического управления газотурбинными электростанциями затрудняется сложностью, нелинейностью и многорежимностью объекта управления, которым является как сама газотурбинная электростанция, так и связанная с ней электроэнергетическая система. Такой синтез проводится на максимально упрощенных математических моделях. Актуальной задачей является разработка имитационных моделей электроэнергетической системы с

различными структурами и составом элементов и анализ их функционирования при воспроизведении заданного перечня внешних и внутренних возмущений. В условиях испытательного стенда становится возможным объединить этапы компьютерных (моделирование системы автоматического управления) и полунатурных испытаний (испытание макетов, экспериментальных и опытных образцов), использующих компьютерную модель электроэнергетической системы. Рассматривается разработка программных модулей моделирования электроэнергетической системы, которые используются в составе подсистемы испытаний энергетических установок. Использование языка Java способствует кросс-платформенности и универсальности. Процесс расчета динамического режима представляется как последовательный расчет статических режимов на каждом шаге дискретизации. Разработаны модели элементов электроэнергетической системы.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, газотурбинная электростанция, газотурбинная установка, система автоматического управления, моделирование, испытание.

Structural and parametric synthesis of automatic control systems for gas turbine power plants is complicated by the complexity, nonlinearity and multimodality of the control object, which is both the gas turbine power plant itself and the associated electric power system and is carried out on the most simplified mathematical models. The actual task is the development of simulation models of the electric power system with various structures and composition of elements and analysis of their functioning when reproducing a given list of external and internal disturbances. Within the test stand, it becomes possible to combine the computer tests (the simulation stage of the automatic control system) and the semi-full-scale tests (the stage of testing mock-ups, experimental and prototypes) using a computer model of the electric power system. The development of software modules for modeling the electric power system, which are used as part of the subsystem for testing power plants, is considered. The use of the Java language promotes cross-platform and universality. The process of calculating the dynamic mode is represented as a sequential calculation of static modes at each sampling step. The models of the elements of the electric power system are developed.

Key words: electric power system, gas turbine power station, gas turbine plant, automatic control system, simulation, testing

Управление тепловыми процессами в нефтяной скважине с помощью греющего кабеля

КОСТАРЕВ Н.А., ТРУФАНОВА Н.М.

Рассмотрена двухмерная математическая модель и численный анализ процессов теплопереноса в нефтяной скважине. Предложенная и реализованная математическая модель процесса позволяет анализировать температурное поле во всем пространстве скважины и подходит для любых месторождений, оборудованных электроцентробежным насосом. Получены поля температур и скоростей, распределение температуры и толщины парафиновых отложений на стенке насосно-компрессорной трубы по глубине скважины. На основе полученных температурных полей разработаны режимы периодического прогрева скважины греющим кабелем. Даны рекомендации по выбору мощности и времени прогрева скважины. Рассмотрен случай, при котором в скважине допускается образование парафиновых отложений с последующим их удалением.

Ключевые слова: нефтяная скважина, греющий кабель, теплоперенос, асфальтосмолопарафиновые отложения, депарафинизация.

The paper presents a two-dimensional mathematical model and a numerical analysis of heat and mass transfer processes in an oil well. The proposed and implemented mathematical model of the process of heat and mass transfer in an oil well allows analyzing the temperature field in the whole space of an oil well and is suitable for any fields equipped with an electric centrifugal pump. Temperature and velocity fields were obtained, the distribution of temperature and thickness of paraffin deposits on the wall of the pump tubing along the depth of the well. On the basis of the obtained temperature fields, the modes of periodic heating of the well by the heating cable were developed. Recommendations are given on the choice of power parameters and the time of warming up the well. A case is considered in which a paraffin deposit can be formed in the well with subsequent removal.

Key words: oil well, heating cable, heat and mass transfer, asphaltene-resin-paraffin deposits, dewaxing.

Основные направления развития кабельной промышленности России

МЕЩАНОВ Г.И., ПЕШКОВ И.Б.

Рассмотрена ситуация, сложившаяся в кабельной промышленности России в постсоветское время. Отмечено, что возникший в бывшем СССР в 90-е годы экономический кризис и последующие кризисные явления, в том числе связанные с мировыми кризисами, в основном преодолены. В 2016 г. впервые после снижения цен на нефть и введенных западных санкций в России начался рост производства кабелей и проводов. Показаны достижения кабельной промышленности за последние годы: разработка и организация производства всех типов кабелей повышенной пожаробезопасности и огнестойких, силовых кабелей среднего и высокого напряжения с полимерной изоляцией (6-330 кВ), оптических кабелей, кабелей для структурированных систем связи, самонесущих изолированных проводов и т.д.. Отмечено, что в 2016 г. начал выпуск отечественного оптического волокна, что является заметным шагом в направлении импортозамещения. Следующий шаг – организация производства в России сшиваемых композиций полиэтилена, безгалогенных композиций и т.д. Сформулированы задачи кабельной промышленности на будущее. В числе этих задач - полный переход на выпуск пожаробезопасной кабельной продукции, продолжение замены производства медных кабелей связи на оптические, разработка и организация производства кабелей переменного тока на напряжение 500 кВ и ряд других. Усилия производителей кабелей в России будут направлены также на сокращение необоснованного в ряде случаев импорта кабелей и проводов. Будет продолжена и расширена борьба с фальсифицированной, контрафактной и некачественной продукцией с привлечением дистрибьютеров, производителей этой продукцией, а также заинтересованных министерств и ведомств.

Ключевые слова: кабель силовой, кабель связи, оптический кабель, оптическое волокно, сшитый полиэтилен, поливинилхлоридный пластикат, импортозамещение.

The article considers the situation existent in Russia in the post-Soviet period. It is indicated that the economic crisis that took place on the territory of the former USSR in the nineties, as well as the crisis phenomena in the following years including those connected with the world crises, were overcome. In 2016, for the first time after decrease of oil prices and introduction of the Western sanctions, a growth in the wire and cable production started in Russia. The authors show achievements of the cable industry over the last years: development and organization of production of all types of high fire safety and fire resistant cables, polymer insulated medium and high voltage power cables (6-330 kV), optical cables, LAN-cables, self-supporting insulated conductors, etc. It is mentioned that domestic optical fibre production was started in 2016. Import replacement issues are very important for the cable industry. Domestic optical fibre

production is a significant step in this direction. Arrangement of XLPE and HF compound production in Russia will be the next step. Future goals for the cable industry are formulated. Among the goals the following should be mentioned: switch to production of high fire safety cable goods, continuation of copper telecom cable replacement with optical cables, development and organization of production of AC cables rated at 500 kV, etc. Russian cable manufacturers will also direct their efforts to reduction of unjustified import of cables and wires. One will continue and widen the fight against counterfeit, faked and low quality products by involving distributors, producers of products like these, as well as concerned ministries and institutions.

Key words: power cable, telecommunication cable, optical cable, optical fiber, cross-linked polyethylene, PVC-compound, import replacement.

Электротехника, 2017, №11, стр.75-80

Опыт пуска электроподвижного состава при помощи «накопительных» тяговых подстанций на Московском метрополитене

ШЕВЛЮГИН М.В., ЕРМОЛЕНКО Д.В., СТАДНИКОВ А.Н., ГОЛИЦЫНА А.Е.

Описан эксперимент «аварийного» хода электроподвижного состава на Филевской линии Московского метрополитена за счет энергии «накопительной» тяговой подстанции при полном отключении внешней системы электроснабжения. Приведены схема и характеристики стационарных накопителей энергии неуправляемого типа, установленных на тяговых подстанциях, а также схема системы тягового электроснабжения экспериментального участка. Описаны условия эксперимента, включая тип и массу электроподвижного состава, а также режим ведения и скоростные ограничения, количество накопителей, зону экспериментального участка и схему подключения тяговой сети, определены кинетические характеристики поезда при движении. Приведены результаты мониторинга показателей работы стационарного накопителя энергии и электроподвижного состава в виде непрерывных осциллограмм токов и напряжений электроэнергетических объектов, участвующих в эксперименте. На основании результатов мониторинга рассчитаны мощность поезда и расход энергии при «аварийном» автономном ходе поезда. Зафиксированы факты возврата энергии обратно в стационарный накопитель энергии за счет рекуперации энергии торможения, а также восстановление напряжения на накопителе при его частичном разряде. Получены аналитические зависимости для оценки энергетического баланса при электроснабжении электроподвижного состава от стационарного накопителя энергии в замкнутой системе

тягового электроснабжения. Представлена методика и выведены зависимости для оценки фактической емкости стационарного накопителя энергии по результатам экспериментальных замеров. Оценка показателей работы электроподвижного состава и стационарного накопителя энергии позволила спрогнозировать возможности существующих систем при отсутствии электропитания со стороны системы первичного электроснабжения.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения, тяговые подстанции метрополитена, накопители энергии, электроподвижной состав.

The experiment of the "emergency" start of the electric rolling stock of Filevsky line of Moscow Metro due to energy of "electrical accumulative" traction substation is described, at blackout of external system of power supply. The scheme and characteristics of stationary energy storage units of uncontrolled type installed on traction substations are presented, as well as the scheme of the traction power supply system of the experimental section. The experimental conditions are described including the type and mass of the electric rolling stock, as well as its operating mode and speed limits, the number of storage tanks, the experimental area and the scheme for connecting the traction network, the kinetic characteristics of the train. The results of monitoring the performance of a stationary energy storage device and an electric vehicle in the form of continuous oscillograms of currents and voltages of electro-energy objects are presented. Based on the monitoring results, the power of the train and the energy consumption are calculated for the "emergency" autonomous train travel. Facts of returning of energy back to the stationary energy store are recorded due to the regeneration of the braking energy, as well as the restoration of the voltage on the accumulator when it is partially discharged. Analytic dependences for estimating the energy balance in the electric power supply of the electric rolling stock from a stationary energy store in a closed system of traction power supply are obtained. The analytical evaluation of the results of monitoring the performance of the electric rolling stock and stationary energy storage during the experiment enabled us to predict the capabilities of the existing systems in the abnormal situation of underground operation in the absence of power supply from the system of primary power.

Key words: system of traction power supply, traction substations of the subway, energy stores, electrical substations, electrical transport.

Электродинамические испытания силовых трансформаторов с компенсацией реактивной мощности

КУВШИНОВ А.А., ХРЕННИКОВ А.Ю.

Показано, что электродинамические испытания силовых трансформаторов сопровождаются доминирующим потреблением реактивной мощности, превышающим во много раз потребление активной мощности. Предложена схема электродинамических испытаний с продольной компенсацией реактивной мощности посредством конденсаторной батареи, позволяющая существенно уменьшить мощность, потребляемую из питающей энергосистемы. Определены параметры конденсаторной батареи и уровни напряжения предварительного заряда, обеспечивающие разнообразные токовые режимы для проведения как наладочных, так и зачетных опытов короткого замыкания. Обоснована возможность проведения электродинамических испытаний силовых трансформаторов с номинальной мощностью до 630 МВА в условиях заводских испытательных центров от регулируемого источника переменного напряжения с диапазоном регулирования (1,5÷7,5) кВ и мощностью 22 МВт. Опыты короткого замыкания оказывают негативное влияние на питающую энергосистему, поскольку способны вызвать провал напряжения продолжительностью до 0,2 с и даже потерю динамической устойчивости. В результате ухудшаются качество и надежность электроснабжения остальных потребителей питающей энергосистемы. Избежать указанных негативных последствий и одновременно обеспечить требуемый испытательный ток короткого замыкания можно путем снижения полной мощности, потребляемой из питающей энергосистемы. В статье задача электромагнитной совместимости стенда электродинамических испытаний и питающей энергосистемы решается путем компенсации реактивной мощности во время опытов короткого замыкания.

Ключевые слова: силовой трансформатор, электродинамические испытания, реактивная мощность, конденсаторная батарея.

Electrodynamic testing of power transformers is accompanied by the dominant consumption of reactive power in many times the active power consumption. The scheme electrodynamic test with longitudinal reactive power compensation by means of a capacitor bank, which allows essentially reduce the amount of power consumed from the mains power grid. The parameters of the capacitor bank and the pre-charge voltage levels, providing a variety of current regimes for both adjustment and final short-circuit shorts. The possibility of carrying out the electrodynamic

tests of power transformers with power ratings up to 630 MVA in a factory test centers on a regulated AC power source control range (1,5 ÷ 7,5) kV and a capacity of 22 MWt. Short circuit shots have a negative impact on the supply grid, because it can cause a voltage drop of up to 0,2 sec and even the loss of dynamic stability. As a result of deteriorating quality and reliability of electricity supply grid of other consumers. To avoid these negative effects and at the same time provide the required test value of short-circuit current can be achieved by reducing the total power consumption from the mains power grid. In this paper, to solve the problem of electromagnetic compatibility of short-circuit testing laboratory and supply electro-energy system is offered by reactive power compensation during short-circuit tests.

Key words: power transformer, electrodynamic testing, reactive power, capacitor bank.

Электротехника, 2017, №11, стр.88-93

Самовозбуждение автономных генераторов. Ч. I. Теоретические аспекты

ДЖЕНДУБАЕВ А.-З.Р., ЧЕРНЫХ И.В.

В работах, посвященных самовозбуждению электрических машин, понятия "жесткое" и "мягкое" самовозбуждение используются для оценки степени воздействия на систему и характера изменения выходной величины при самовозбуждении. В статье обосновывается необходимость использования этих терминов исключительно для оценки характера изменения выходной величины. По аналогии с генератором постоянного тока предложено разделить условия самовозбуждения асинхронного генератора на *стартерные* и *автогенераторные* (автоколебательные). Экспериментально показано, что при размагниченной системе (*слабый стартер*) самовозбуждение генератора постоянного тока сопровождается скачкообразным изменением напряжения, то есть имеет место жесткий режим самовозбуждения. После работы в установившемся режиме генератор вновь намагничивается (*сильный стартер*), и при повторном самовозбуждении скачкообразного изменения напряжения не наблюдается. Такое самовозбуждение, при котором сильный стартер за счет остаточной индукции нивелирует "жесткий" характер самовозбуждения, предложено называть "псевдомягким".

Ключевые слова: генератор постоянного тока, асинхронный генератор, самовозбуждение, стартер, автогенератор, автоколебания.

The article shows that in the works devoted to the self-excitation, the notions of "hard" and "soft" self-excited, at first, is used to assess the degree of impact on the system, and secondly, to assess the nature of the change in the output value when self-excitation, thirdly, to assess the impact and to assess the nature of the change of the output quantity. This article explains the need to use these terms only to assess the nature of the change of the output quantity. The article, by analogy with the DC generator, proposed to break the self-excitation conditions of asynchronous generator on two conditions: starter and auto generator (self-oscillatory). Experimentally proved that when demagnetized system (weak starter) self-excitation of the DC generator is accompanied by an abrupt change of voltage, there is a hard self-excitation mode. It was found that after working in alternator mode, generator re-magnetized (strong starter), and during the second self-excitations voltage changes are not observed. In the article such self-excitation, in which a strong starter in the form of residual induction, eliminates "hard" nature of self-excitation is proposed to call "pseudo-soft".

Key words: DC generator, asynchronous generator, self-exciting, starter, oscillator, self-oscillation.

Электротехника, 2017, №11, стр.94

**Всероссийскому научно-исследовательскому институту кабельной промышленности
– 70 лет**

Электротехника, 2017, №11, стр.95

Виктор Петрович Рубцов (к 80-летию со дня рождения)