

Принципы самомаршрутизации сигналов в аналого-цифровом преобразователе на основе однослойной нейронной сети

МАКАГОНОВ Н.Г., ПОСЯГИН А.И., ЮЖАКОВ А.А.

Рассмотрены причины отказа от одного из слоев ранее разработанной двухслойной нейронной сети, используемой в самомаршрутизирующемся аналого-цифровом преобразователе (АЦП), и способ перехода к однослойной нейронной сети, состоящей из одного скрытого слоя основных измерительных нейронов (ОИН), входного и выходного слоев. ОИН являются однотипными и универсальными и могут заменять друг друга, между ними предусмотрены дополнительные связи внутри скрытого слоя, что увеличивает отказоустойчивость структуры. Так как сеть состоит из одного скрытого слоя, то распределение ресурсов ОИН происходит за счет самих нейронов без дополнительных элементов (коммутаторы в двухслойной сети). Для уменьшения аппаратных затрат на реализацию одного ОИН применена местная система управления, которая подразумевает объединение нескольких нейронов для полноценного управления формированием индивидуальных АЦП для каждого входного сигнала. Приведены принципы самомаршрутизации сигналов в однослойной нейронной сети, основанные на принципах «эхо-локации». Описаны возможные состояния ОИН в зависимости от состояния сети: пассивное, временно активное и вынужденно активное. Для этих состояний приведены алгоритмы работы ОИН, формирования служебных сигналов «эхо-запрос» и «эхо-ответ», а также условия для изменения состояния нейрона. Проведено сравнение однослойной и двухслойной нейронных сетей для самомаршрутизирующегося АЦП и сделан вывод о рациональности применения однослойной сети, которая приводит к уменьшению аппаратных затрат, увеличению отказоустойчивости и позволяет значительно упростить задачу масштабирования структуры АЦП.

Ключевые слова: аналого-цифровой преобразователь, нейронная сеть, отказоустойчивость, коммутатор, самомаршрутизация, «эхо-локация».

The paper deals with the refusal causes from one of two-layer neural network developed earlier layers that realizable in the self-routing analog-to-digital converter (ADC), and transition to the one-layer neural network method. The one-layer neural network composed one hidden layer of basic measuring neurons (BMN), input and output layers. BMN are universal of the same type and are able to replace each other, additional relations in hidden layer are provided, which increase structure fault-tolerance. Besides, BMN resource distribution are happened from themselves without additional elements (the switchers in two-layer network), because this

network is one-layer network. Local control system is applied for decrease one BMN hardware costs. Local control system means several BMN association for full-control of individual ADC formation. The principles of signals self-routing in the one-layer neural network based on the "echo-location" principle are given in this paper. BMN possible states are described: passive, temporary active and forced active. Service signals «echo-request» and «echo-answer» formation algorithms and BMN state change contains are showed. In custody comparison of one-layer and two-layer neural networks for self-routing ADC is carried out and the conclusion about rationality use one-layer network is drawn, which decrease hardware costs, increase fault-tolerance and simplification scaling.

Key words: analog-to-digital converter; neural network, fault-tolerance, switch, self-routing, "echo-location".

Электротехника, 2016, №11, стр. 7-12

Минимизация общего времени резки с учетом технологий для станков с ЧПУ

ФАЙЗРАХМАНОВ Р.А., МУРЗАКАЕВ Р.Т., БУРЫЛОВ А.В., ПРИСТУПОВ В.С.

Рассмотрена задача формирования маршрута режущего инструмента станков с ЧПУ в обобщенной постановке и предложена математическая модель минимизации общего времени резки с учетом технологий стандартной, цепной и общей резки. В качестве технологических ограничений используются простые и совмещенные эквидистанты, условия предшествования контуров и деталей, типы переходов между эквидистантами (режущие и холостые), а также точки входа (врезки) и выхода (выключения) режущего инструмента. Общее время резки суммируется из общего времени холостого хода, общего времени рабочего хода и времени, затрачиваемого на пробивку материала с учетом задержки на подготовку оборудования. Приведены два основных этапа решения задачи. Первый (предварительный) этап включает построение матрицы условий предшествования, определение участков общего реза и генерацию эквидистант контуров с учетом информации об общем резе. На втором этапе (оптимизации) выполняется формирование множеств потенциальных точек входа и выхода, далее оптимизируется соотношение времени холостых и рабочих переходов и числа точек врезки для минимизации общего времени резки. Приведены алгоритмы определения участков общего реза и генерации совмещенных эквидистант. Предложенная модель проверена при помощи программного комплекса фигурного раскроя *ITAS NESTING*. Для проведения вычислительного эксперимента использован метаэвристический алгоритм "всемирного потопа" (*The Great Deluge Algorithm*). Результаты эксперимента на примере

гидроабразивного станка показали, что использование технологии общего реза позволяет существенно уменьшить общее время резки благодаря уменьшению рабочего хода и количества необходимых точек врезки инструмента.

Ключевые слова: станки с ЧПУ, режущий инструмент, минимизация времени резки, технологические ограничения

The paper considers a problem of the route formation for a cutting tool in a generalized formulation. The paper also proposes a mathematical model of minimization of a total cutting time based on technologies of standard, chained and combined cutting. The following is used as technological limitations: simple and combined equidistant, conditions of preceding contours and components, types of transitions between equidistant (cutting and idle), as well as the entry points (tie) and exits (off) of the cutting instrument. Total cutting time equals sum of idle moves, total stroke time and the amount of time spent on burn into material and time spent on cutting initialization. Two main steps for solving the problem are given. First step (preliminary) includes building a matrix of conditions of preceding, determining areas of combined cutting and generation of contours equidistant, considering information about combined cutting. Second step (optimization) includes creation of array of entry and exit points, followed by optimization of burn and idle moves ratio, as well as optimization of entry points count to minimize total cutting time. Algorithms for determining of areas of combined cutting and for generation combined equidistant are shown. The proposed model is tested via software complex "ITAS NESTING". For realization of computing experiment The Great Deluge Algorithm is used. The results of experiment, made with waterjet instrument shows, that using technology of combined cutting leads to reduction of total cutting time through reduction of idle moves and reduction of needed entry points for instrument.

Key words: CNC machines, cutting tool, minimization of the cutting time, technological limitations

Электротехника, 2016, №11, стр. 12-15

Определение оптимальных условий работы кабельных линий в подземном кабельном канале

ТРУФАНОВА Н.М., ДЯТЛОВ И.Я.

Выполнено математическое моделирование процессов теплообмена в кабельном канале с учетом естественной конвекции, а также излучения между поверхностями кабеля и трубы и потерь в экранах. Объектом исследований являлся подземный кабельный канал, в котором проложены восемь линий на напряжение 6кВ и шесть линий на напряжение

35кВ. Сечение токопроводящих жил 150 мм^2 . Кабели марки АПВВнг-LS располагаются треугольником внутри полиэтиленовых труб. Были определены картины температурных полей при изменении различных факторов, рассчитаны допустимые токи и предложены оптимальные схемы подключения кабельных линий в зависимости от выбранного критерия. С помощью пакета ANSYS методом конечных элементов решена двумерная нестационарная задача сложного тепломассопереноса и теплопроводности внутри подземного кабельного канала. Определен диапазон допустимых рабочих токов в зависимости от расположения кабельных линий и приоритета их подключения. Рассмотрено воздействие температуры окружающей среды на допустимый ток. Рассчитаны оптимальные диапазоны термически допустимых рабочих токов с учетом потерь в экранах. Получены оптимальные схемы включения кабельных линий в зависимости от решаемой проблемы передачи электрической энергии. Приведена оценка передаваемой мощности для каждого рассмотренного способа подключения кабельных линий подземного канала. Сделаны выводы о практическом применении того или иного способа включения кабельных линий. Предложены области применения данной математической модели.

Ключевые слова: кабельная линия, кабельный канал, длительно допустимый рабочий ток, температурное поле кабельной линии, рациональные схемы включения кабельных линий в кабельном канале.

There are described two dimensional mathematical modeling of heat transfer process inside a cable channel with accounting of convection and radiation between cable and tube. Object of study is an underground cable channel that consists from the eight lines with voltage of 6 kV and six lines with voltage of 35 kV. Conductor's area is 150 мм^2 . Cables brand <<АПВВнг-LS>> (NA2XH) are laid in polyethylene pipes with triangle method. Subject Studies - first, it is pattern of temperature fields obtained while various factors, secondly, the calculation value of the permissible current, and third, statement of optimum method of cable lines connecting circuits according to the selected criteria. Solution for heat and mass transfer process was calculated for underground cable channel, there are eight cable lines for 6kV and six for 35kV. Used method – is FEM, realized in ANSYS. Analysis the range of permitted current depending on the location of live wire and their working priority. Influence of ambient temperature on the permissible current. Optimal ranges of permissible current and connection scheme of cable lines depended on energy transmission problem. Estimation of transmit power value for every considered connection method. Conclusions for practical application this methods. Description of

application of this mathematical model.

Key words: cable line, permitted current, temperature field of cable line, rational connecting schemes of cable line.

Электротехника, 2016, №11, стр. 16-21

Исследование параллельной работы трёхфазных трансформаторов с различными коэффициентами трансформации

РОМОДИН А.В., КУЗНЕЦОВ М.И.

Представлены результаты исследования параллельной работы двух силовых трёхфазных трансформаторов с различными коэффициентами трансформации. 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. Экспериментально доказано, что параллельная работа трансформаторов со значительной разницей в коэффициентах трансформации при увеличении общей нагрузки приводит к снижению потребляемого тока обмотками трансформатора с большим коэффициентом трансформации.

Ключевые слова: трёхфазный трансформатор, коэффициент трансформации, электрическая нагрузка, распределение мощности, фазовый сдвиг напряжения.

In article results of research of parallel work of two power three-phase transformers with various transformation ratios are presented. 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. By authors it is experimentally proved that parallel work of transformers with a considerable difference in transformation ratios at increase in the general loading leads to decrease in a consumed current by windings of the transformer with the big transformation ratio.

Key words: the three-phase transformer, transformation ratio, electric loading, power division, phase shift of voltage.

Электротехника, 2016, №11, стр. 21-27

Исследование адаптивного управления частотой вращения электроэнергетических газотурбинных установок

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

Рассмотрено применение адаптивного управления газотурбинными установками, предназначенными для привода электрогенераторов на электростанциях, работающих в автономном режиме. Рассмотрены требования к показателям качества электроэнергии для таких электростанций и стандартная система управления газотурбинными установками, которую предлагается дополнить специальным модулем адаптации. С помощью эталонной модели задается желаемое поведение системы управления. Эталонная модель строится на основе упрощенной нелинейной модели газотурбинной установки. Структура эталонной модели выбирается исходя из физических принципов преобразования энергии в газотурбинной установке. Коэффициенты модели и нелинейные графики изменения параметров модели определяются по результатам экспериментов на реальной газотурбинной установке. Выполнено сравнение новой адаптивной системы управления со стандартной системой управления газотурбинной установкой, для чего задается график изменения нагрузки и анализируются переходные процессы при изменениях нагрузки. Сравниваются графики по основным регулируемым переменным: частоте вращения свободной турбины, частоте вращения турбокомпрессора, а также графики расхода топлива. Показано, что применение адаптивного подхода позволяет улучшить показатели качества вырабатываемой электроэнергии по частоте при значительных изменениях электрической нагрузки электростанций, работающих в автономном режиме. Для исследований адаптивного управления разработаны специализированные программные комплексы, которые могут использоваться на испытательных стендах, где газотурбинная установка заменяется компьютерной моделью. Показано, что новый модуль адаптации несложно встроить в штатную систему автоматического управления газотурбинными

установками, применяемыми для привода электрогенераторов газотурбинных электростанций.

Ключевые слова: электрическая станция, газотурбинная установка, адаптивное управление.

We investigate the use of adaptive control of gas turbines, which are used to drive generators in power station. The article discusses the work of the power station in stand-alone mode. Requirements for power quality parameters for such power plants are considered. Standard control system gas turbine is considered, it is proposed to supplement this system by special adaptation module. Desired behavior of control system is achieved by means of a reference model. The reference model is based on a simplified nonlinear model of a gas turbine unit. The structure of the reference model is chosen based on physical principles of energy conversion in the gas turbine unit. The model parameters and non-linear graphs of the model are determined by identifying the results of experiments on the real gas turbine station. A new adaptive control system and the standard control system are compared. For this purpose, the schedule of load change is given and transient load changes are analyzed. Transients on the basic controlled variables are compared: the free turbine speed, rotational speed of the turbocharger, as well as fuel consumption charts. The adaptive approach can improve the indicators of quality of electricity with significant changes in the electrical load of power plants. The specialized software systems are developed for research the application of adaptive management. These software systems can be used on test benches where the gas turbine unit is replaced by a computer model. It is shown that the new module of adaptation is easy to integrate into system of automatic control of gas turbines, used for driving power generators gas turbine power plants.

Key words: power plant, gas turbine unit, adaptive control

Электротехника, 2016, №11, стр. 27-32

Модификация контура свободной турбины авиационного двигателя с применением нейронной технологии

ХИЖНЯКОВ Ю.Н., ЮЖАКОВ А.А.

Многорежимное управление турбовинтовым двигателем (ТВД) летательного аппарата (ЛА) осуществляет блок управления двигателем (БУД). Программы БУД обеспечивают управление динамикой полета при изменении контролируемых возмущений в заданном диапазоне. Неконтролируемые возмущения (запредельные изменение параметров воздуха за бортом, повышенный расход топлива из-за протечки в дозаторе, изменение параметров двигателя и т.д.) могут нарушить нормальные условия полета летательного аппарата.

Предложена коррекция программ БУД при помощи адаптивного нейронного управления по всем контурам. На примере контура управления частотой вращения свободной турбины предложена замена штатного регулятора на адаптивный нейронный регулятор (АНР), содержащий адаптивный фаззификатор, блок активационных функций и динамическую обратную связь. Показано, что правильный выбор терм-множества фаззификатора применительно к свойствам дозатора исключает статическую ошибку в контуре частоты вращения свободной турбины. Адаптацию фаззификатора обеспечивает нейрон с алгоритмом последовательного обучения. Алгоритм коррекции активированных степеней принадлежности фаззификатора в конкретный момент времени изменяет численное значение синапсов за одну итерацию. Приведена осциллограмма, подтверждающая возможность применения модифицированного адаптивного нейро-нечеткого управления для стабилизации частоты вращения свободной турбины во всех режимах работы двигателя. Отмечено, что стабильное поддержание частоты вращения свободной турбины вызывает автоколебания из-за дисбаланса генерируемой и потребляемой мощностей двигателя. Показано, что этот недостаток можно устранить применением встроенного датчика крутящего момента вращения свободной турбины, с помощью которого возможно вычисление мощности потребления двигателя. Введение обратной связи по мощности в контурах нагрузки и генерирования энергии исключает автоколебания.

Ключевые слова: Авиационный двигатель, свободная турбина, модифицированный адаптивный нейронный регулятор, датчик крутящего момента, генерируемая мощность, потребляемая мощность, каскадное включение контуров.

Multimode control of the turbofan carried out by engine control unit (ECU). ECB program provides dynamic control when a controlled fluctuations changes within the given range. Impact of the uncontrolled disturbances (changing of air parameters overboard beyond the limits, fuel consumption due to leakage in the dispenser, engine parameters change etc.) could violate the normal flight conditions of the aircraft. To counter that, the correction of ECU program by addition of adaptive neural control in all contours, was proposed. Replacement of the standard free turbine speed control contour by the adaptive neural controller (ANC) was shown as example. A choice of fuzzificator term set, in relation to the properties of a dispenser, which excludes statistic error in the free turbine speed control contour was shown. Neuron with sequential learning provides an adaptation of the fuzzificator. Algorithm for correction of activated grades of membership of the fuzzificator at a particular time changes numerical value of a synapses per one iteration. Given waveforms confirms the usage possibility of the adaptive

neural control for the means of stabilizing free turbine fan speed. But, stable maintaining of a free turbine fan speed causes oscillation due to imbalance of generated and consumed power of aircraft engine. This disadvantage can be eliminated with the aid of a built-in-rotation torque sensor in free turbine, which could be used to estimate power consumption of an aircraft engine. Introduction of power feedback in energy load and generation contours eliminates self-oscillations.

Key words: aircraft engines, free turbine, adaptive neural controller, torque sensor, the generated power, power consumption, cascading loops.

Электротехника, 2016, №11, стр. 32-37

Роботизированная система для неразрушающей дефектоскопии объектов сложной формы

ФАЙЗРАХМАНОВ Р.А., МУРЗАКАЕВ Р.Т., БАКУНОВ Р.Р., МЕХОНОШИН А.С.

Автоматизация дефектоскопических исследований изделий из полимерных композиционных материалов, широко используемых в аэрокосмической отрасли, ввиду специфики анализируемых объектов делает невозможным достоверные исследования без использования специализированных средств компьютерного контроля и управления. Рассмотрен один из вариантов решения данной проблемы, которое базируется на использовании робототехнической системы, предназначенной для рентгенографической съемки изделия с различных ракурсов, осуществляемой путем синхронного перемещения вблизи поверхности изделия блоков сенсоров и воздействующих элементов. Такой подход позволяет описать микроструктуру материала конструкции с учетом как начальных, технологических дефектов, так и дефектов, возникающих в процессе эксплуатации. Представлен компьютерный прототип разрабатываемой системы, реализованный с использованием современных 3D-технологий. Основным компонентом рассматриваемой системы является манипулятор, предназначенный для позиционирования источника рентгеновского излучения. Продемонстрирован прототип такого манипулятора, реализованный с помощью современных технологий трехмерной печати. Описан протокол передачи данных, который может использоваться для взаимодействия между операторским пультом управления и главным контроллером робота. Показан прототип виртуального пульта, предназначенный для отладки функционирования указанного протокола и программы управления манипулятором. В экспериментальной части статьи приведен расчет рабочей области манипулятора, в которую должно быть вписано

исследуемое изделие. При разработке дальнейших версий прототипа манипулятора и опытного образца их рабочая область будет рассчитываться аналогичным образом.

Ключевые слова: изделия из полимерных композиционных материалов, неразрушающая дефектоскопия, объекты сложной формы, манипулятор

At the present time there is an actual problem connected with the automation of flaw detection research of products made of polymeric composite materials, widely used in the aerospace industry. Design and specifics of the analyzed objects makes it impossible to research significantly without the use of specialized computer tools of monitoring and control. The article describes one of the solutions of the problem which is developed in the Perm National Research Polytechnic University. The solution is based on the usage of a robotic system for capturing radiographic photos of product from different angles, carried out by the synchronous movement of sensor and acting units near the surface of the product. This allows describing the microstructure of the material of construction with considering both the initial, technological flaws and defects arising during operation. The paper shows a computer prototype of the developed system implemented using modern 3D-technologies. The main component of the system is a robotic arm designed for positioning of the head which is a source of X-rays. The article demonstrates its prototype implemented with the usage of modern three-dimensional printing technologies. There is description of data transfer protocol that can be used for interaction between the operator control panel and the main robot controller. There is information about prototype of the virtual console, intended for debugging of the protocol and the manipulator control program operations. Experimental part of the article demonstrates the calculation of the manipulator workspace, in which investigational product should be inscribed. During the development of future versions of the manipulator and system prototypes their work area will be calculated in a similar manner.

Key words: product made of polymer composite materials, non-destructive flaw detection, objects with complex shape, manipulator

Электротехника, 2016, №11, стр. 37-40

Численные исследования электромагнитных процессов в сплошном цилиндрическом экране

ЩЕРБИНИН А.Г., МАНСУРОВ А.С.

Предложена математическая модель процессов в сплошном цилиндрическом экране при защите от действия переменного магнитного поля, построенная относительно комплексной амплитуды векторного магнитного потенциала. Поскольку силовые линии

магнитного поля лежат в плоскости перпендикулярной оси цилиндрического экрана, задача считается двумерной. Электромагнитные параметры рассматриваемых сред постоянны и изотропны. Источником магнитного поля являются обкладки, на которых задан магнитный потенциал. Распределение реальной и мнимой частей комплексной амплитуды магнитного потенциала в проводящей среде описывается четырьмя дифференциальными уравнениями, в диэлектрической – двумя. На границах раздела сред задано равенство магнитного потенциала по разные стороны границы. Равенство векторного магнитного потенциала нулю на бесконечном удалении от экрана обеспечивается с помощью граничного условия Робина. Полученная система дифференциальных уравнений, дополненная краевыми условиями, решается численно методом конечных элементов с использованием метода Галеркина. В результате решения определяются распределения магнитного потенциала и напряженности магнитного поля при отсутствии и наличии экрана, по которым вычисляется затухание экранирования. Установлено, что при увеличении толщины экрана и частоты сигнала помехи, эффективность электромагнитного экранирования растет. Адекватность предложенной модели и методики определения эффективности экранирования подтверждена сравнением с результатами аналитической модели в случае медного цилиндрического экрана.

Ключевые слова: электромагнитное экранирование, эффективность экранирования, переменное магнитное поле, метод конечных элементов, численные исследования.

A mathematical model of a solid cylindrical screen to protect against the action of an alternating magnetic field, built with respect to the complex amplitude of the magnetic vector potential. Since the magnetic field lines are in a plane perpendicular to the axis of the cylindrical screen, the task is two-dimensional. Electromagnetic parameters of the considered environments are constant and isotropic. The source of the magnetic field are plates on which the magnetic potential is set. The distribution of the real and imaginary parts of the complex amplitude of the magnetic potential in the conductive environment is described by the four differential equations, and in the dielectric - two. On the separation boundary is given equal magnetic potential on both sides of the border. Realization of the equality of the vector magnetic potential zero at an infinite distance from the screen is performed by Robin boundary conditions. The resulting system of differential equations, supplemented by boundary conditions is solved numerically by finite element method using the Galerkin method. As a result, the numerical solution of a mathematical model to determine the distribution of the magnetic potential and magnetic intensity with screen and without screen, further calculated attenuation shielding. At increase in thickness of the screen and frequency of a signal of a hindrance, effectiveness of electromagnetic screening

grows. 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 shielding, shielding effectiveness, an alternating magnetic field, finite element method, numerical researches.

Электротехника, 2016, №11, стр. 40-45

Применение топологического списка для расчета параметров электроэнергетических систем на основе метода узловых напряжений

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

Рассмотрена программная реализация уравнений узловых напряжений для расчета параметров электроэнергетических систем на основе топологического списка. Из известных модификаций метода узловых напряжений предложено использовать уравнения узловых напряжений в форме баланса токов при задании нагрузки постоянной проводимостью. Для исключения при расчете гармонических составляющих уравнения каждого элемента электроэнергетической системы представляются в осях Парка-Горева. При формировании матриц узловых проводимостей и задающих токов используется топологический список, основанный на принципе поэлементного вклада. При этом основными достоинствами метода на основе топологического списка являются отсутствие необходимости соблюдения порядка нумерации строк и его высокая алгоритмичность, что обеспечивает сведение к минимуму вычислительных затрат при составлении уравнений на ЭВМ. Суть принципа поэлементного вклада заключается в последовательном формировании коэффициентов матриц по мере построчной обработки топологического списка. Представлен алгоритм формирования уравнений по методу узловых напряжений с применением топологического списка в виде блок-схемы. Расчет методом узловых напряжений на основе топологического списка имеет как самостоятельное значение, так и является составной частью более сложных видов расчетов, таких как оптимизация нормальных режимов, анализ устойчивости, оценка надежности и т. д. Представлена взаимосвязь отдельных составляющих процесса решения задачи расчета стационарных и квазистационарных режимов электроэнергетической системы по входной и выходной информации. Формирование уравнений структурных элементов в стационарных и квазистационарных режимах электроэнергетической системы предприятия осуществляется на основе линеаризации исходных уравнений узловых напряжений.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, метод узловых напряжений, топологический список, схема, ветвь, узел

The software implementation of the node-voltage equations for calculating the parameters of electric power systems based on the topological list is considered. Among the well-known modifications of node-voltage equations method it's encouraged to use the node-voltage equation in the form of current load balance when specifying a constant conductivity. To eliminate the harmonic components in the calculation equation of each element of the electric power system they are presented in the Park-Gorev axes. In forming the matrix of nodal conductivities and defining the currents the topological list based on the principle of piecemeal contributions is used. 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. The essence of the principle of piecemeal contribution lies in the formation of successive matrix coefficients as progressive processing topological list. The algorithm for the formation of the equations by node-voltage equations method using topological list is presented in block diagram form. The calculation of node-voltage equations method based on topological list is an independent task, also it is an integral part of more complex tasks, such as the optimization of normal modes, stability analysis, reliability assessment, etc. The relationship of individual components of the problem solving process of calculation of stationary and quasi-stationary electric power system modes for input and output information is shown. Formation of the equations of the structural elements in stationary and quasi-stationary modes of the electric power system is based on the linearization of the initial node-voltage equations.

Key words: electric power system, method of node voltages, the topological list, scheme, branch, node

Электротехника, 2016, №11, стр. 45-51

Оценка эффективности автоматизированной системы испытаний синхронных неявнополюсных электрических машин

ИСЦЕЛЕМОВ Д.А., ЛЮБИМОВ Э.В.

На основе анализа нормативных документов и изучения технологического процесса испытаний разработана автоматизированная система испытаний синхронных неявнополюсных электрических машин, представляющая собой трёхуровневую иерархическую структуру. Нижний уровень представлен измерительными датчиками и исполнительными механизмами, средний уровень - цифровым вычислительным комплексом на базе платформы NI PXIe компании National Instruments, верхний уровень - автоматизированным рабочим местом оператора, выполненным на основе персонального

компьютера промышленного исполнения. Основу созданной системы составляет алгоритмы и программы для автоматизированных испытаний синхронных турбомашин, оформленные в среде «LabVIEW» в виде единого программного комплекса взаимосвязанных виртуальных приборов («SMTTest»). В алгоритмах определения статических параметров машины использован метод аппроксимации ее характеристик уравнениями регрессии различного порядка с контролем среднеквадратичной нормы, в алгоритмах определения динамических параметров – комбинированный оптимизационный метод покоординатного спуска и наименьших квадратов. Для фильтрации помех, возникающих в каналах связи, в алгоритмах определения параметров синусоидальных сигналов, снимаемых с датчиков напряжения и тока в установившихся режимах, и точек огибающих сигналов в переходных режимах использован новый, эффективный адаптивный метод скользящей тригонометрической аппроксимации. Для сокращения времени получения статических характеристик машины в структуре автоматизированной системы испытаний синтезирован контур регулирования тока возбуждения с ПИД-регулятором, который обеспечивает требуемую форсировку возбуждения. Оценка эффективности предложенной автоматизированной системы испытаний выполнена с помощью математического моделирования процесса испытаний и эксперимента. Анализ результатов показал, что использование данной системы позволяет снизить трудоёмкость и продолжительность процесса испытаний в 1,5-1,7 раза, повысить точность получаемых результатов в 3-5 раз, повысить безопасность процесса, снизив риски получения травм и возникновения аварийных ситуаций из-за ошибочных действий персонала.

Ключевые слова: электрические синхронные турбомашин, испытания, автоматизация, статические и динамические параметры машин, программная среда разработки «LabView», виртуальный прибор

Automated test system for synchronous round rotor machines has been designed on the bases of regulations and testing procedure operations analysis. The system is a three level hierarchical structure. The lower level of the system consists of measurement sensors and operation units. The system's midrange is a digital computer system based on NI PXIe platform by National Instruments. The supremal level is a computerized operator position based on industrial class PC. Algorithms and programs for automatic testing of synchronous machines, which were developed by the authors, form the basis of the system. The programs (VIs) were made using “LabVIEW” development framework. Because of their interconnections, they are combined into software complex called “SMTTest”. Approximation of acquired from testing synchronous machine

characteristics using least square method and regression equations of different order is used in algorithms to determine static parameters. Combined optimizing algorithm, which is based on the least square method and alternating-variable descent method, is used to determine dynamic parameters of testing synchronous machine. To filter possible noise in measuring channels of voltage and current sensors, while determine parameters of sinusoidal signals in stationary modes and dots of envelope curves in transient modes, a new developed effective and adaptive method of sliding trigonometric interpolation is used. To cut off the time for receiving static characteristics, the automated system has a designed field current control loop with PID controller, which provides a desired field forcing. The automated test system's efficiency estimation has been made using modeling and experimental study. The results' analysis has shown that the system usage allows to reduce testing procedure complexity and its duration in 1.5 – 1.7 times, improve accuracy of the received results in 3 – 5 times and improve safety of the process by mitigating injury risks and accidents due to erroneous action of the staff.

Key words: round rotor synchronous machines, tests, automation, static and dynamic parameters, “LabVIEW” development system, virtual instrument

Электротехника, 2016, №11, стр. 51-55

КПД электродвигателя глубинного насоса возвратно-поступательного действия и потери в подводящем кабеле

КЛЮЧНИКОВ А.Т., КОРОТАЕВ А.Д.

Показана взаимосвязь потерь в вентильном двигателе с частотой и уровнем питающего напряжения для вентильного двигателя возвратно-поступательного действия. Приведены уравнения для КПД питающего кабеля длиной до 2-3 км. Рассмотрено влияние на потери понижающего трансформатора и преобразователя частоты, определено, что потери в линии соизмеримы с потерями в двигателе. В данном случае КПД линии можно согласовать с нагрузкой и понизить КПД до 50 %. При этом обеспечивается передача практически максимальной мощности в двигатель. Показана возможность использовать потери в линии для прогрева жидкости. В случае необходимости прогрева жидкости ток двигателя должен быть номинальным, а частота напряжения минимальной. Для снижения потерь в линии и двигателе частоту напряжения необходимо повышать до номинального значения. Таким образом, определено, когда при номинальном токе двигателя следует частоту напряжения уменьшать или увеличивать. Приведены выражения для расчета необходимого числа модулей двигателя при заданной глубине скважины. Показано, что для глубин 1, 2, 3 км возможно использование соответственно стандартных напряжений

380, 660, 1000В. С увеличением глубины скважины количество модулей двигателя возрастает, что приводит к увеличению напряжения пропорционально глубине скважины. Получена взаимосвязь питающего напряжения нескольких модулей двигателя с глубиной скважины до 10км.

Ключевые слова: глубинный насос, вентильный двигатель, подводный кабель, КПД

In work interrelation of losses in valve a engine with frequency and size of a feeding voltage for valve of a engine of reciprocating action is shown. Equations for a efficiency feeding cable by a length of the order of 2-3 km are indicated. Influence to losses of a transformer and converter. Is determined, that the losses in a line are commensurable with losses in a engine. In this case a efficiency of a line it is possible to agree a load and to lower a efficiency up to 50 %. Transfer of practically maximum capacity to a engine is thus provided. Opportunity to use losses in a line for heating of a liquid is shown. In case of necessity of heating of a liquid the current of a engine should be nominal, and frequency of a voltage minimum. For decrease of losses in a line and engine the frequency of a voltage was necessary is to increased up to by(with) rating value. Thus, is determined, when at rated current a engine it should frequency of a voltage reduce or to increase. Expressions for account of necessary number of modules of a engine are indicated at a given depth a borehole. Is shown, that for depths 1, 2, 3 km use according to standard voltage 380, 660, 1000 В is possible. With a increase of a depth a borehole quantity of modules of a engine Grows, that practically results in a increase of a voltage proportionally to a depth a borehole. Interrelation of a feeding voltage of several modules of a engine with a depth a borehole up to 10 km is received.

Key words: deep pump, valve engine, supply cable, efficiency

Электротехника, 2016, №11, стр.55-59

О повышении качества кластеризации сигналов в технических системах с помощью линейного дискриминантного анализа

ФАЙЗРАХМАНОВ Р.А., БАКУНОВ Р.Р.

В современных информационно-измерительных системах часто применяются специальные методы снижения размерности обрабатываемых данных. Одним из них является линейный дискриминантный анализ (ЛДА) – техника обработки данных, применяемая в машинном обучении и предназначенная для нахождения наилучших комбинаций признаков (особенностей), по которым можно разделить два или более типов объектов или событий. Статья посвящена анализу влияния ЛДА на качество кластеризации сигналов, образующих обучающую выборку, на основе которой

осуществляется классификация новых сигналов. За критерий качества кластеризации принят показатель компактности и изолированности, а также индекс эффективности. Приводится пример вычисления указанных критериев до и после применения ЛДА. В качестве экспериментальных данных используются измеренные сигналы электрической мощности, потребляемой некоторым технологическим объектом.

Ключевые слова: критерии качества кластеризации, показатель компактности и изолированности, индекс эффективности, линейный дискриминантный анализ, цифровая обработка сигналов, потребляемая мощность

Special methods of dimension reduction of processed data are used often in modern information-measuring systems. One of them is a linear discriminant analysis (LDA). LDA is a data processing technique which is used in machine learning and designed for finding of best combinations of attributes (features) which can be applied for dividing two or more types of objects or events. The article is devoted to analysis of LDA influence on clusterization quality of signals formed learning sample which is used for classification of new signals. The index of compactness and isolation together with the efficiency index are utilized as clusterization quality criteria. The article contains a practical example of the calculation of these criteria before and after applying LDA. Experimental data is represented by power consumption signals of some technological object.

Key words: clusterization quality criteria, index of compactness and isolation, efficiency index, linear discriminant analysis, digital signal processing, power consumption.

Электротехника, 2016, №11, стр. 59-63

Способ организации данных для хранения результатов испытаний электротехнических изделий

БОЧКАРЕВ С.В., ПОПОВ Д.А.

При испытании электротехнических изделий производится сбор, обработка и хранение большого количества различных параметров. Для хранения и быстрой обработки данных необходимо оптимизировать хранение временных рядов. Существующие решения не позволяют одновременно производить сбор большого количества параметров с различной структурой и высокой точностью. Предложен способ хранения данных, основанный на выделении и хранении аппроксимирующей функции и ошибок. Получено выражение, определяющее эффективность аппроксимации путем вычисления информационной энтропии Шеннона. Рассмотрено влияние точности хранения исходных данных на значение энтропии и, следовательно, конечный объем данных. Допустимые погрешности

изменений многих параметров электротехнических изделий находятся в диапазоне от 0,5 до 1,0%, поэтому можно использовать хранение аппроксимирующих функций, а не исходных численных данных. Для аппроксимации значений параметров требуется промежуточное хранилище – буфер, в качестве которого предлагается использовать базы данных временных рядов. Предложенный способ легко интегрируется в базы данных документо-ориентированного типа. Гибкая структура представления значений параметров испытаний вместе с бессхемной реализацией документо-ориентированных баз данных позволяют строить и интегрировать информационные системы различной сложности.

Ключевые слова: энтропия Шеннона, временной ряд, база данных, аппроксимация.

A large number of different parameters are collected and processed in testing electrical products. To enable long-term storage and fast data processing is necessary to use an optimized way to store time series. Existing solutions do not allow to simultaneously collect a large number of different parameters of the structure and high precision. A data storage method of electrical products test based on the isolation and storage of the approximating function and error is considered. An expression that determines the efficiency of the approximation by computing the Shannon information entropy is obtained. In the article the influence of the accuracy of the source data store by the entropy value, and hence the final volume of data. Permissible errors change many parameters of electrical products in the range of 0.5% to 1,0%. At such values may use the storage method of approximating functions in contrast to the original numerical data. To approximate the parameters of electrical products requires the use of intermediate storage – a buffer. The buffer provided the use of time series data base. The proposed method can be easily integrated in the database document-oriented type. Flexible structure to represent values of the test parameters with schemaless implementation of the document-oriented databases allow you to build and integrate the information systems of varying complexity.

Key words: Shannon entropy, time series, database, approximation.

Электротехника, 2016, №11, стр. 66-71

Исследование режимов работы и характеристик последовательных источников реактивной мощности

ЧАПЛЫГИН Е.Е., АСТАШЕВ М.Г., РАСУЛИ К.В.

Предложена структура последовательного гибридного источника реактивной мощности, который может быть использован для регулирования тока линии электропередачи при возможности ограничения скорости нарастания тока короткого замыкания. Рассмотрены устройства на базе трехфазного тиристорного моста и трех однофазных мостов и их

режимы работы. Исследованы зависимости гармонического состава тока линии и пределов регулирования тока от параметров контура пассивного фильтра. Определены основные параметры элементов устройств и типовые мощности трансформаторов.

Ключевые слова: FACTS, последовательный источник реактивной мощности, регулирование тока линии электропередачи

A structure of series hybrid reactive power source that can be used for current regulation of transmission line with the possibility of limiting the rate of growth short-circuit current is proposed. Devices based on both three-phase bridge and three single-phase bridges and its operation modes are considered. Research of dependence between both current harmonics and current regulation limits and parameters of passive filter is produced. Basic parameters of device and typical powers of transformers are determined.

Key words: FACTS, series reactive power source, transmission line current regulation.

Электротехника, 2016, №11, стр.72-78

Влияние системы заземления экранов на выбор сечения кабельной линии с изоляцией из сшитого полиэтилена

БУРЕ И.Г., ХЕВСУРИАНИ И.М., БЫСТРОВ А.В.

Рассмотрены системы заземления экранов однофазных силовых кабелей высокого напряжения. Приведены выражения для вычисления токов и напряжений экранов. Предложена методика выбора кабелей напряжением выше 6 кВ по коэффициенту выбора, основанная на сравнении линий с различными видами систем заземления экранов.

Ключевые слова: кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, заземление экранов с двух сторон, одностороннее заземление, транспозиция экранов, критерий выбора

Discussed system of grounding shields of single-phase power high voltage cables. Expressions are given for the calculation of currents and voltages of shields. Proposed method of selecting cables with voltage over 6 kv by selection coefficient, based on a comparison of lines with different types of grounding.

Key words: XLPE cables, serene bonding, sheath cross bonding, selection criteria.

Электротехника, 2016, №11, стр. 78-81

Специальный высокоскоростной синхронный генератор с возбуждением от постоянных магнитов

ЗАПАДНЯ М.Ф., ШИХТИН А.П.

Приведены результаты проектирования высокоскоростного турбогенератора с возбуждением от постоянных магнитов. Для обеспечения прочности магнитной системы ротора, сведения к минимуму потерь в теле магнитов и нагрева последних использована гильза (бандаж) из специального сплава. Для снижения потерь в стали сердечника статора и коэффициента насыщения использован материал 49КФ. В конструкции генератора применен газодинамический подвес ротора. Охлаждение генератора двухконтурное с использованием рабочего тела газовой турбины (гелий с давлением 20 бар (2 МПа) и температурой 360 К). Часть рабочего тела газовой турбины (гелий с давлением 20 бар и температурой 650 К) поступает в теплообменник, где его температура понижается до 360 К, далее газ поступает в контуры генератора для охлаждения его активных частей. Проведен расчет распределения температур в активной зоне генератора при охлаждении его рабочим телом газовой турбины.

Ключевые слова: генератор, электромагнитный расчет, специальные сплавы, охлаждение.

A gas-turbine driven, high-speed generator for use in special equipments is examined. It consists of a permanent magnet generator with surface-mounted magnets together with a special alloy sleeve, shielding of a magnets and supporting a strength of the rotor. For minimization of losses the 49 K Falloy is used. A gas dynamic bearings. The portion of turbine working medium carry into the heat exchanger. The output of gas cooler are in sequence connected with force gas cooling system of the generator. The coolant is helium with of 20 bar pressure and 360 K temperature. For calculation of temperature distribution in generator a thermal resistance network is used. The coolant flow around stator, air-gap and end windings is stratified. The working parameters of generator from finite element analysis are calculated.

Key words: the generator data, calculation of electromagnetic parameters, special alloys, thermal analysis.