

Модификация контура свободной турбины авиационного двигателя МАТУШКИН М.Н., ХИЖНЯКОВ Ю.Н., ЮЖАКОВ А.А.

Многорежимное управление турбовинтовым двигателем (ТВД) осуществляет блок управления двигателя (БУД). Программы БУД обеспечивают управление динамикой полета при изменении контролируемых возмущений в заданном диапазоне. Влияние неконтролируемых возмущений (запредельные изменение параметров воздуха за бортом, расход топлива из-за протечки топлива в дозаторе, изменение параметров двигателя и т.д.) может нарушить нормальные условия полета летательного аппарата. Предлагается коррекция программ БУД путем адаптивного нейронного управления по всем контурам. На примере контура управления частотой вращения свободной турбины показана замена штатного регулятора на адаптивный нейронный регулятор (АНР), содержащий адаптивный фаззификатор и блок дефаззификации. Показан выбор термножества фаззификатора применительно к свойствам дозатора, который исключает статическую ошибку в контуре частоты вращения свободной турбины. Адаптацию фаззификатора обеспечивает нейрон с последовательным обучением. Алгоритм коррекции активированных степеней принадлежности фаззификатора в конкретный момент времени изменяет численное значение синапсов за одну итерацию. Приведенные осциллограммы подтверждают возможность применения адаптивного нейронного управления для стабилизации частоты вращения свободной турбины. Однако стабильное поддержание частоты вращения вызывает автоколебания из-за дисбаланса генерируемой и потребляемой мощностей авиационного двигателя. Этот недостаток можно устранить с применением встроенного датчика крутящего момента вращения свободной турбины, с помощью которого можно вычислить мощность потребления авиационного двигателя. Введение обратной связи по мощности в контурах нагрузки и генерирования энергии исключает автоколебания. Одновременное применение адаптивного нейронного управления в совокупности с введением обратной связи по мощности определяет актуальность статьи.

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

Multimode control of the turbofan carried out by engine control unit (ECU). ECU-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, stabile 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. Simultaneous usage of adaptive neural control and the power feedback determines the relevance of this article.

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

Анализ перспективных методик управления двухдвигательным электроприводом

ФАЙЗРАХМАНОВ Р.А., ВОЛОДИН В.Д., ШАРОНОВ А.А., ПОЛЕВЩИКОВ И.С.

Успехи силовой электроники сделали реальностью гибридные автомобили, а также транспортные средства, использующие только электрическую энергию — не только привычные электровозы, трамваи и троллейбусы, но и электромобили, такие, как Tesla-S и ElLada. В современных транспортных средствах на электрической тяге широко используется многодвигательный электропривод и каждому электродвигателю необходима собственная система управления, что увеличивает габариты, занимаемые управляющими инверторами и регуляторами, а следовательно, растет и потребляемая от источника питания мощность. Для снижения потребляемой мощности, а также уменьшения габаритов электронных систем управления многодвигательным электроприводом разрабатываются новые схемотехнические и программные решения. В статье приведен обзор перспективных методов управления двухдвигательным электроприводом: пятиканального и девятиключевого инверторов. Рассматриваются схемотехнические и программные решения, с помощью которых реализуются более оптимальные методы управления двумя электродвигателями.

Ключевые слова: двухдвигательный электропривод, трехфазный электродвигатель, система управления, пятиканальный инвертор, девятиключевой инвертор, DSP.

Electric drive and electric motor is becoming more widely used in society and the economy. Advances power electronics have made a reality hybrid cars and vehicles using only electrical energy — not just the usual electric locomotives, trams and trolleybuses, but also electric vehicles, such as the Tesla-S and El Lada. In modern vehicles on electric traction is widely used multimotor electric motor and each requires its own control system, which increases the size occupied by the master inverter and controls, and, consequently, so does the consumption of power from the power source. In order to reduce power consumption and reduce the size of electronic control systems for electric multiimpellent develop new hardware and software solutions. This article provides an overview of promising methods of control twin-engined electric drive: five-channel and nine-key inverters. Considered as schematics and software solutions, which are implemented using more optimal methods to control two electric motors.

Key words: electric twin-engine, three-phase motor control system, a five-channel inverter, nine-key inverter, DSP.

Экспериментальные и численные исследования токовой нагрузки силовых кабелей в зависимости от условий прокладки

ЩЕРБИНИН А.Г., ТЕРЛЫЧ А.Е., МАНСУРОВ А.С.

Для экспериментального определения токовых нагрузок кабелей разработана и построена лабораторная установка, моделирующая различные способы открытой прокладки кабелей в пучках. Токпроводящие жилы исследуемого кабеля образуют короткозамкнутый виток, который является вторичной обмоткой трансформатора тока. Необходимое значение тока в кабелях устанавливалось при помощи лабораторного автотрансформатора. Температура в центре пучка фиксировалась с помощью термопары. Численные исследования процессов теплообмена кабелей проводились с помощью математической модели, учитывающей естественную конвекцию воздуха и теплообмен излучением. Математическое описание конвективных процессов рассматривается в приближении Буссинеска и основывается на законах сохранения энергии, массы и количества движения. Задача теплопроводности кабелей решена совместно с задачей конвективного теплообмена воздушного потока в кабельном канале. Полученная система дифференциальных уравнений, описывающая тепловые процессы в кабельном канале, дополнена соответствующими граничными условиями. Поставленная задача решалась численно в среде инженерных расчетов ANSYS. Рассмотрены четыре способа прокладки кабелей, для каждого из которых кабели нагружались пятью различными токами. Адекватность математической модели реальным процессам подтверждена сравнением экспериментально измеренных температур на поверхности кабеля в центре пучка с результатами вычислений. Расхождение между экспериментальными и численными данными не превышало 11%. Допустимые токовые нагрузки кабелей для различных способов прокладки определены с помощью математической модели и разработанной итерационной процедуры. Отмечено, что пропускная способность кабельных линий во многом зависит от способов прокладки кабелей.

Ключевые слова: кабельная линия, прокладка кабелей, токовая нагрузка, температурное поле.

For the experimental determination of current loads of cables designed and built laboratory appliance, which simulates a variety of ways to layout of cables in bunches. The conductors of the test cable to form a closed loop current transformer. The required value of current in the cable was provided by laboratory autotransformer. The temperature in the center of the bunch of cables was measured with a thermocouple. Numerical investigations of heat and mass transfer processes in cables was performed using a mathematical model that takes into account the natural air convection and heat radiation. The mathematical description of convective processes considered in the Boussinesq approximation and is based on the laws of conservation of energy, mass and momentum. The problem of heat conduction of cables was solved together with the problem of convective heat transfer of air flow in the cable duct. The resulting system of differential equations describing the thermal processes in the cable channel, supplemented by appropriate boundary conditions. The problem was solved numerically in the ANSYS simulation software. The four ways to layout of cables in bunches, each of which cables are loaded with five different currents was considered. Adequacy of the mathematical model to the

real processes is confirmed by comparing experimentally measured temperatures on the surface of the cable in the center of the beam with the results of calculations. The difference between the experimental and numerical data does not exceed 11%. Allowable current loads of cables for different ways of laying determined by a mathematical model with using an iterative procedure. It was noted that the allowed current load of the cable lines in many ways depends on the cables disposition in bunches.

Key words: cable line, cables layout, current load, temperature field.

Функции эффективности для основного электротехнического оборудования предприятий минерально-сырьевой отрасли

ПЕТРОЧЕНКОВ А.Б.

Рассмотрен подход к оценке текущего состояния электротехнического оборудования предприятий минерально-сырьевой отрасли. На основе экспериментальных и отчетных данных сформированы функции эффективности для основного электротехнического оборудования (при этом техническое состояние электродвигателей характеризуется экспертными оценками, техническое состояние комплектных трансформаторных подстанций – оценкой риска отказа, техническое состояние линий электропередачи – вероятностной оценкой). Проведен анализ результатов моделирования аппроксимирующих функций для основного электротехнического оборудования (в качестве прогнозирующих функций для электродвигателей переменного тока выбрана логарифмическая функция, для комплектных трансформаторных подстанций – линейная функция, для линий электропередачи – гиперболическая функция).

Ключевые слова: электротехническое оборудование, техническое состояние, аппроксимирующие функции.

The approach of estimating the current state of the electrotechnical equipment in mineral resource industry is considered. The functions of the efficiency of basic electrotechnical equipment are generated on the basis of experimental data and reports (technical condition of the motor is characterized by expert estimates, the technical condition of transformer substations – assessment of the risk of failure, the technical condition of power lines – a probabilistic assessment). The analysis of the simulation results of approximating functions for basic electrotechnical equipment is described (as a predictive function for AC motors selected logarithmic function, for complete transformer substations – linear function, for power lines – hyperbolic function).

Key words: electrical equipment, technical condition, approximating function.

Высокоточная и достоверная идентификация переходных процессов мощных синхронных машин вероятностно-статистическими методами

СУДАКОВ А.И., ЧАБАНОВ Е.А.

По результатам стендовых испытаний синхронной машины (СМ) серии СТД-800-2,6 кВ при напряжении испытания 4512 В в опыте внезапного симметричного короткого замыкания (ВКЗ) рассмотрена идентификация переходного процесса (ПП) вероятностно-статистическими методами (ВСМ) на базе теории вероятности и математической статистики, а также графоаналитическим методом (ГАМ) по ГОСТ 10169-77. Несмотря на высокую

трудоемкость, низкую точность и достоверность результатов обработки осциллограмм ПП из-за использования многочисленных графических операций и переходов от аналогового ПП к дискретному виду и обратно, ГАМ до настоящего времени является основным и широко распространённым. Обработка осциллограмм ГАМ с целью преобразования ПП из аналоговой формы к дискретной приводит к появлению отклонений вершин от их первоначального расположения. Поэтому практически все электромагнитные параметры неадекватно соответствуют ПП СМ. Предложен способ минимизации среднеквадратичной погрешности аппроксимации переходной составляющей к опытным данным. Эта погрешность представляется в виде поверхности в трёхмерной системе координат. Поэтому процедуры оптимизации, моделирования, оценки погрешности в каждом узле дискретизации с учётом влияния различных случайных факторов позволяют выявлять минимальную погрешность. Апробирован также способ оценки ударного тока по одной вершине без определения параметров ПП в опыте ВКЗ. Представлен анализ погрешности результатов идентификации ПП СМ ГАМ и ВСМ по всем фазам.

Ключевые слова: синхронная машина, переходный процесс, внезапное короткое замыкание, ударный ток, среднеквадратичная погрешность аппроксимации.

According to the results of bench tests of the synchronous machine (SM) series STM-800-2,6 kV at the tests voltage 4512 V in the sudden symmetrical short-circuit (SSC) experience there is presented the identification of the transient process (TP) obtained by probabilistic and statistical methods (PSM) based on probability theory and mathematical statistics and graphical-analytical method (GAM) in accordance with GOST 10169-77. Despite the high labor intensity, low precision and reliability of the processing of TP waveforms due to the use of multiple graphics operations and the transitions from analogue of the TP to a discrete form and back again, the GAM until now is a major and widespread. When processing waveforms by GAM to transform the PP from analog to discrete there is a deviation peaks from their original location in the experience. Processing waveforms by GAM to transform of the TP from analog to discrete leads to the appearance of the peaks deviations from their initial experimental locations. Therefore, the definition of almost all electromagnetic parameters, currents, impact current and others do not adequately meet the TP of the SM. The solution of the problem of high-precision and reliable identification of the TP of the SM is still relevant. The authors suggest extraordinary decisions to minimize the mean square error of approximation of the transient component to the experimental data. It is represented as a surface in three-dimensional coordinate system. Therefore, the optimization procedure, modeling, estimating the error in each node sampling, taking into account the influence of various random factors allow to reveal the minimum error. It tested as a way to assess of the impact current by one vertex without defining the parameters of the TP in the experience of the SSC. Here are the analysis of error of the identification results of the TP of the SM by GAM and PSM on all phases.

Key words: synchronous machine, the transient process, the sudden short-circuit, peak current, the mean square error of approximation.

Проблемы анализа полумодулярности и энергонадежности отказоустойчивых самосинхронных схем

КАМЕНСКИХ А.Н., СТЕПЧЕНКОВ Ю.А., ТЮРИН С.Ф.

Самосинхронные устройства, не зависящие от задержек элементов, часто позиционируют как высоконадежные, однако вопросы создания отказоустойчивых самосинхронных цифровых схем до сих пор изучались мало. Путем адаптации существующих методов проектирования отказоустойчивых комбинационных схем под самосинхронную реализацию предложен ряд технических решений и методик, позволяющих существенно увеличить надежность узловых элементов — индикаторов окончания переходных процессов. Показано, что традиционные методы повышения надежности для самосинхронных устройств не позволяют достичь тех параметров, на которые рассчитывают разработчики цифровых устройств. Поэтому одной из ключевых задач на пути к созданию отказоустойчивых самосинхронных схем является разработка оригинальных методов повышения надежности и отказоустойчивого проектирования. При решении этой задачи возникает проблема анализа разрабатываемых отказоустойчивых решений на самосинхронность. Дан анализ взаимосвязи между масштабированием энергопотребления и надежности. Предложен показатель энергонадёжности, позволяющий сравнивать цифровые схемы по трем ключевым показателям — энергопотреблению, надежности, производительности.

Ключевые слова: самосинхронные схемы, надежность, пассивная и активная отказоустойчивость, мажоритирование, резервирование на транзисторном уровне, энергонадёжность, полумодулярность.

Self-timed devices (speed-independent devices) often apply for the post in a high-reliable computing system; however, questions of fault-tolerant designing of self-timed circuits were researched poorly. We started with the implementation of existed techniques of fault-tolerant designing for the fault-tolerant self-timed device. After that we develop some new techniques with using of redundant bases, these techniques can greatly increase reliability of key-units such as indicators etc. Design results analysis shows that traditional fault-tolerant designing techniques does not allow achieving the demanded technical parameters of a device. Thus, one of the actual task for researches is development of fault-tolerant designing techniques that will be efficiently use the advantages of self-timed circuits. The problem of fault-tolerant device analysis on self-timed property appears during development of fault-tolerant self-timed designing techniques. This problem is considered in the first part of the paper.

Key words: self-timed circuits, reliability, fault-tolerance, triplication, major gate, transistor-level redundancy, semi-modularity, energy-reliability.

Формирование энергоэкономичного маршрута режущего инструмента станков гидроабразивной и лазерной резки с ЧПУ ФАЙЗРАХМАНОВ Р.А., МУРЗАКАЕВ Р.Т., БУРЫЛОВ А.В., ШИЛОВ В.С.

Рассмотрена задача формирования маршрута режущего инструмента с учетом особенностей станков лазерной и гидроабразивной резки. Модель задачи представлена для стандартной технологии резки, когда на каждом контуре выбирается единственная точка врезки (входа/выхода), а контур вырезается одной непрерывной линией без выключения инструмента. Критерием является длина холостого хода режущего инструмента, которую необходимо минимизировать, поэтому в данной постановке задачи экономия электроэнергии достигается за счет уменьшения холостого перемещения.

Отмечена NP-трудность данной задачи. Описаны как общие ограничения, не зависящие от используемого типа станка, так и особенности, возникающие при использовании гидроабразивной и лазерной резки. При построении маршрута режущего инструмента выделены три основных этапа. На первом для каждого контура формируется множество потенциальных точек врезки с учетом особенностей выбранного типа станка, на втором при помощи жадного алгоритма генерируется начальная последовательность резки контуров, а для каждого контура выбирается одна точка врезки, принадлежащая множеству допустимых, на третьем этапе происходит оптимизация начального решения одновременно двумя метаэвристиками – алгоритмом всемирного потопы (GD) и методом пороговой допустимости (ТА). Из полученных маршрутов режущего инструмента в качестве результата выбирается лучший. Для подтверждения работоспособности предложенного метода проведен эксперимент в системе фигурного раскроя ITAS NESTING. Алгоритм построил маршруты для станков гидроабразивной и лазерной резки, удовлетворяющие всем ограничениям. Отмечена его высокая производительность. Для ста пятидесяти двух контуров алгоритму потребовалось в среднем три секунды, чтобы построить путь режущего инструмента гидроабразивного станка и две секунды – для станка лазерной резки.

Ключевые слова: станки с ЧПУ, режущий инструмент, технология резки, холостой ход, оптимизация маршрута.

The paper deals with generation of the cutting tool route taking in account features of waterjet and laser machines. We present problem model for standard cutting technology, i.e. every contour contains the only incut point and contour can be cut out by only single continuous line. Optimization criterion is length of cutting tool idle run which has to be minimized. In this model problem the economy of the electric power is reached due to reduction of idle running. It was pointed that considered problem belong to NP-hard ones. We describe both common and specific restrictions. Common restrictions do not depend on machine type. Specific restrictions for waterjet and for laser machines are different. Three primary stages of the cutting tool route generation are distinguished. On the first stage sets of possible incut point for every contour are generating taking into account features of selected machine type. On the second stage initial permutation of contours and the only incut point for every contour are selected by greedy algorithm. The third stage is optimization of initial solution by two metaheuristics in the same time – Great Deluge Algorithm (GD) and Threshold Accepting (TA). The best solution from two obtained ones is selected. To show efficiency of method computational experiments in nesting system ITAS NESTING were performed. Obtained solution for both waterjet and laser machine satisfies all restrictions and features. Proposed method shows high performance. It takes algorithm three seconds on average to find solution for waterjet machine and two seconds to find solution for laser machine on the data of one hundred fifty two contours.

Key words: CNC-machine, cutting tool, cutting technology, idle running, path optimization.

**Математическое моделирование нестационарных процессов
тепломассопереноса в прямоугольном кабельном канале
ТРУФАНОВА Н.М., НАВАЛИХИНА Е.Ю., ГАТАУЛИН Т.В.**

Рассмотрена задача конвективного теплопереноса в прямоугольном кабельном канале, проложенном в массиве земли с учетом электро- и магнитодинамических процессов в металлических элементах силового кабеля. Токовая нагрузка силовых кабелей напрямую зависит от температурного поля в кабельном сооружении, на которое в свою очередь влияют условия теплообмена, теплофизические характеристики используемых материалов, индуцированных токов в металлическом экране силовых кабелей и др. Предложенная математическая модель процессов сложного теплопереноса основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии. Для электродинамической задачи используются уравнения плотности тока и вектора магнитного потенциала, основанные на уравнениях Максвелла. Поставленная задача решалась численно в условиях естественной конвекции с учетом лучистой энергии методом конечных элементов в программном пакете Ansys Fluent. Рассчитаны мощности тепловых потерь в металлических элементах конструкции силового кабеля, поля скоростей и температур в кабельном канале. Представлены и проанализированы температурные поля в кабельном канале в зависимости от расположения силовых кабелей. Рассмотрены различные режимы работы кабельной линии. Для анализа тепловых процессов в кабельном канале, решена нестационарная задача для определения времени нагрева кабельных линий до предельных значений. Получены кривые нагрева кабельных линий при нестационарном режиме работы. Определено максимальное время работы кабельной линии в режиме перегрузки и короткого замыкания.

Ключевые слова: кабельный канал, теплоперенос, максимальная температура силового кабеля, температурное поле.

This work is devoted to solving the problem together convection complex heat and mass transfer in a rectangular duct laid in the ground, taking into account the array of electric and magnetodynamic processes in the metal elements of the power cable. The magnitude of the current load power cables depends on the temperature field in the cable construction, which in turn influenced by the following factors: the conditions of heat transfer, thermal characteristics of the materials used, the induced currents in a metal screen of power cables and many others. The mathematical model of the processes of complex heat and mass transfer based on the laws of conservation of mass, momentum and energy. For the electrodynamic problem of the equation used current density and the magnetic vector potential, based on Maxwell's equations. The problem is solved numerically under conditions of natural convection with the radiant energy of the finite element method in engineering software package Ansys Fluent. As a result, the numerical solution of obtained power of heat loss in metal structural elements of the power cable, velocity and temperature fields in the duct. Presented and analyzed the numerical results obtained temperature fields in the duct depending on the location and distance of power cables. The different modes of operation of the cable line. To analyze the thermal processes that are realized in the cable channel in real time, transient problem is solved to determine the heating time of cable lines to the limit values. The curves of the heating cable lines in unsteady operation. Determine the maximum operating time of the cable line in overload and short circuit.

Key words: cable channel, heat and mass transfer, the maximum temperature of the power cable, temperature field.

О синтезе пассивно-адаптивных систем управления электриводом

ДАДЕНКОВ Д.А., КАЗАНЦЕВ В.П.

Предложен новый подход к синтезу пассивно-адаптивных электромеханических систем управления – декомпозиция структуры системы управления на две подсистемы, которые решают единую задачу финитного управления, но наделены различными функциями. Первая подсистема – система управления электроприводом, выполняет задачу финитного, инвариантного к задающим воздействиям, управления в традиционной постановке линейных дискретно-непрерывных систем. Адаптивная эталонная модель, как вторая подсистема, участвует в формировании оптимального по критериям быстродействия и точности вектора фазовых координат электропривода с ограничением их на допустимых уровнях. Выполнена реализация дискретно-непрерывной системы управления электропривода и функциональной структуры пассивно-адаптивной электромеханической системы в среде имитационного моделирования MexBIOS Development Studio. Результаты имитационного моделирования показали приемлемое качество функционирования системы как в линейной, так и нелинейной зоне работы при отработке аддитивных приращений задания положения вала электропривода, изменяющихся в произвольные моменты времени. Синтезированная система обладает низкой чувствительностью к изменению параметров электромеханического объекта управления.

Ключевые слова: электромеханическая система управления, пассивная адаптация, адаптивная эталонная модель, синтез финитного управления, дискретный апериодический регулятор состояния, имитационное моделирование.

Questions of synthesis and research of passive and adaptive electromechanical control systems are considered. Feature of the offered approach is original decomposition of structure of a control system on two subsystems, which solve a uniform problem of finite control, but have various functions various functions. The control system of the electric drive as the first subsystem carries out a task finite invariant to the setting impacts of management in traditional statement of linear discrete and continuous systems. The control system of the electric drive as the first subsystem carries out a task finite, invariant to the setting influences, controls in traditional statement of linear discrete and continuous systems. The Adaptive reference model as the second subsystem is involved in the formation of optimal by the criteria of speed and accuracy of a vector of phase coordinates of the actuator to limit them to acceptable levels. Realization of a discrete and continuous control system of the electric drive and functional structure of passive and adaptive electromechanical system in the environment of modeling of MexBIOS Development Studio is executed. The presented results of simulation showed an acceptable quality of the system for both in linear and non-linear zone of operation at working additive increments the position the drive, changing at random times. This made the research showed that the synthesized system has a low sensitivity to changes in electromechanical control object.

Key words: electromechanical control system, passive adaptation, adaptive reference model, synthesis of finite control, discrete aperiodical regulator of a state, imitating modeling.

Автоматизированная система удаленного энергомониторинга подвижных объектов с электроприводом

КОСТЫГОВ А.М., КЫЧКИН А.В., АРТЕМОВ С.А.

Предложен подход к автоматизации удаленного энергомониторинга подвижного объекта с электроприводом, направленный на решение задачи формирования статистики по результатам анализа профилей энергопотребления. Приведены структурные решения организации системы, реализующей сбор, передачу и обработку измерительной информации от потребителей электрической энергии подвижного объекта. На базе смешанной реализации разработана схема блока измерений системы, включающего набор датчиков температуры, напряжения, тока, скорости. Разработана схема организации обмена данными, соответствующая верхнему уровню автоматизации энергомониторинга, диспетчерский уровень которой реализован локальной и глобальной информационными системами JEVis с открытым исходным кодом. В качестве контроллера сбора данных предлагается использовать модуль удаленной телеметрии и управления линейки VIDA44M. Модули системы энергомониторинга могут быть установлены на одном сервере или распределяться на несколько, образуя облачный сервис. Связь контроллеров сбора данных с сервером осуществляется по беспроводным каналам. Представлены основные расчетные показатели энергопотребления подвижного объекта, а также результаты обработки энергетических профилей на полунатурной модели статической и динамической нагрузок электропривода. На основе полученных автоматизированной системой энергомониторинга графических профилей можно судить о расходе ресурсов подвижных объектов, в том числе единиц городского транспорта в удельном эквиваленте, сравнивать показатели расхода между однотипными объектами, выявлять неисправности или неправильную настройку оборудования, ранжировать объекты по потреблению, вырабатывать решения по замене неэффективных частей и механизмов, прогнозировать потребление и т.п. В результате можно рассчитать показатели энергопотребления, оценить энергоэффективность, провести энергоаудит транспортной компании, вырабатывать управленческие решения по энергосбережению.

Ключевые слова: автоматизированная система, энергомониторинг, удаленный мониторинг, энергетический профиль, VIDA44M, JEVis, подвижный объект, полунатурное моделирование.

An approach to automating remote energy monitoring a moving object with electric drive, aimed at addressing the problem of generating statistics on the analysis of energy consumption profiles urban electrified transport, is proposed. The structural solutions organization system implementing the collection, transmission and processing of measurement data from electricity consumers moving object is presented. On the basis of the implementation of a scheme for mixed unit of measurement system includes a set of temperature sensors, voltage, current, speed. The scheme of data exchange, corresponds to the upper level of automation retrofits, control level, which allows for local and global information systems JEVis open source is shown. As the controller is proposed data collection module to use remote telemetry and control line VIDA44M. Energy monitoring system modules can be installed on a single server or distributed to multiple, forming a cloud service; communication controllers of data collection server is done wirelessly. The main parameters of the mobile object energy consumption, and the results of processing power profiles HIL model electric-powered vehicle are presented. On the basis of

automated energy monitoring data can be judged on the consumption of resources moving objects in specific terms, compare the flow rates between similar objects, identify faults or improper adjustment of the equipment, to rank the objects of consumption, to develop solutions for the replacement of inefficient parts and mechanisms, to predict consumption and etc. As a result, we can calculate the energy consumption figures, to evaluate energy efficiency, conduct energy audits of the transport company, to develop management solutions for energy efficiency.

Key words: automated system, energy monitoring, remote monitoring, energy profile, VIDA44M, JEVIS, moving object, Hardware-in-the-Loop simulation.

Структура и алгоритм работы коммутатора в нейронной сети самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя МАКАГОНОВ Н.Г., ПОСЯГИН А.И., ЮЖАКОВ А.А.

Рассматривается структура нейронной сети самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя, в которой выделен первый скрытый слой, коммутаторы. Приводятся две возможные структуры коммутатора с точки зрения сбора информации о состоянии нейронной сети и описываются их алгоритмы работы. Проведено сравнение данных структур и сделан вывод о положительных и отрицательных сторонах их функционирования.

Ключевые слова: аналого-цифровой преобразователь, нейронная сеть, отказоустойчивость, коммутатор, самомаршрутизация.

The article concerns the structure of a neural network of the self-routing analog-to-digital converter, particularly its first ulterior level - commutators. The article also presents two possible structures of a commutator according to collecting the information of the state of a neural network, their algorithms are described. The structures are compared which resulted the conclusion of advantages and disadvantages of their operation.

Key words: analog-digital converter, neuron network, fault tolerance, commutator, self-routing.

Программный комплекс «SMTTest» для испытательных станций синхронных турбомашин

ИСЦЕЛЕМОВ Д.А., ЛЮБИМОВ Э.В.

Предложены 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, а 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 комплекса имеется специальный виртуальный прибор для синтеза контура регулирования тока возбуждения с ПИД-регулятором, который обеспечивает требуемую

форсировку возбуждения. Комплекс «SMTTest» протестирован с помощью HIL-моделирования и экспериментально на лабораторном стенде. Анализ показал, что при достижении в каналах связи уровня помех до 30% от полезного сигнала отклонение в идентификации параметров испытуемой машины не превышает 6%. В составе стационарной или мобильной испытательной станции комплекс позволяет полностью автоматизировать процесс получения характеристик и определения основных статических и динамических параметров неявнополюсных синхронных машин средней и большой мощности на заводе-изготовителе или ремонтном предприятии.

Ключевые слова: электрические синхронные турбомашины, испытательные станции реального времени, программная среда разработки «LabVIEW», виртуальный прибор, статические и динамические параметры машин.

Algorithms and programs for automatic testing of synchronous machines have been developed by the authors. The programs (VIs) have been made using “LabVIEW” development system. They have interconnections and have been combined into one software system. 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 software has a special VI with designed field current control loop with PID controller, which provides a desired field forcing. “SMTTest” software system has been tested using HIL modeling and also using a laboratory test stand. The testing results analysis shows that even when the acquired signal has a 30% noise level, the calculation error in parameters’ determination does not exceed 6%. The software, as a part of stationary or mobile test stand, allows automating the process of receiving characteristics and determining main static and dynamic parameters of middle-, and high-power round rotor synchronous machines.

Key words: round rotor synchronous machines, real-time test stands, “LabVIEW” development system, Virtual Instrument, static and dynamic parameters.

Авторы опубликованных статей

Артемов Сергей Андреевич – студент ФГБОУ ВПО ПНИПУ.

Бурылов Артём Валерьевич – студент магистратуры электротехнического факультета ФГБОУ ВПО ПНИПУ.

Володин Валерий Дмитриевич – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» ФГБОУ ВПО ПНИПУ. Окончил электротехнический факультет Пермского политехнического института в 1984 г.

Гатаулин Тимур Вагизович – окончил электротехнический факультет ФГБОУ ВПО ПНИПУ в 2015 г.

Даденков Дмитрий Александрович – старший преподаватель кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» ФГБОУ ВПО ПНИПУ. Окончил Пермский ГТУ по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» в 2006 г.

Исцелемов Дмитрий Александрович – начальник отдела электропривода департамента проектирования ЗАО «НИПО», соискатель кафедры электротехники и электромеханики ФГБОУ ВПО ПНИПУ. Окончил горно-нефтяной факультет Пермского ГТУ по специальности «Электромеханика» в 2008 г.

Каменских Антон Николаевич – аспирант кафедры АТ ФГБОУ ВПО ПНИПУ. Окончил ФГБОУ ВПО ПНИПУ в 2013 г.

Казанцев Владимир Петрович – профессор кафедры МСА ФГБОУ ВПО ПНИПУ, доктор техн. наук, доцент. Окончил электротехнический факультет Пермского политехнического института (ППИ) в 1976 г. Защитил докторскую диссертацию по теме «Методологические и теоретические основы испытаний изделий авиационной и ракетной техники на ротационных стендах» в 2001 г.

Коротаев Александр Дмитриевич – доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» ФГБОУ ВПО ПНИПУ, канд. техн. наук. Окончил ППИ в 1968 г. Защитил диссертацию в 1983 г.

Костыгов Александр Михайлович – декан электротехнического факультета, профессор кафедры микропроцессорных средств автоматизации ФГБОУ ВПО ПНИПУ, канд. техн. наук. Окончил электротехнический факультет ППИ в 1977 г. Защитил диссертацию по теме «Центробежный испытательный стенд на основе дугостаторного асинхронного двигателя» в 1989 г.

Кычкин Алексей Владимирович – доцент кафедры МСА ФГБОУ ВПО ПНИПУ, канд. техн. наук. Окончил электротехнический факультет Пермского ГТУ в 2006 г. Защитил диссертацию по теме «Информационно-измерительная система для оценки состояния сосудов» в УГАТУ (г. Уфа) в 2010 г.

Любимов Эдуард Викторович – профессор кафедры электротехники и электромеханики ФГБОУ ВПО ПНИПУ, канд. техн. наук, проф. Окончил электротехнический факультет ППИ в 1961 г. Защитил диссертацию по теме «Исследование программных систем автоматического управления электроприводами машин и механизмов циклического действия с целью их оптимизации» в ЛЭТИ в 1969 г.

Макагонов Никита Германович – студент второго курса электротехнического факультета ФГБОУ ВПО ПНИПУ.

Мансуров Альфер Саматович – аспирант кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» ФГБОУ ВПО ПНИПУ. Окончил электротехнический факультет ФГБОУ ВПО ПНИПУ в 2013 г.

Матушкин Николай Николаевич – профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» ФГБОУ ВПО ПНИПУ, доктор техн. наук. Окончил машиностроительный факультет ППИ в 1963 г. Защитил докторскую диссертацию по теме «Методологические и теоретические основы проектирования адаптивных информационно-управляющих систем автоматизации испытаний средств управления газотурбинными двигателями» в 1997 г.

Мурзакаев Рустам Талгатович – доцент кафедры информационных технологий и автоматизированных систем ФГБОУ ВПО ПНИПУ, канд. техн. наук, доцент. Окончил механико-математический факультет ППИ в 1983 г. Защитил диссертацию по теме «Исследование деформирования плит методом муара при проникании ударника» в 1993 г.

Навалихина Екатерина Юрьевна – ассистентка кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» ФГБОУ ВПО ПНИПУ. Окончила электротехнический факультет Пермского ГТУ в 2011 г.

Петроченков Антон Борисович – заведующий кафедрой микропроцессорных средств автоматизации ФГБОУ ВПО ПНИПУ, канд. техн. наук, доцент. Окончил электротехнический факультет Пермского ГТУ в 1999 г. Защитил диссертацию по теме «Автоматизация выбора режимов функционирования систем электроснабжения нефтеперерабатывающих предприятий» в 2003 г.

Полевщиков Иван Сергеевич – ассистент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» ФГБОУ ВПО ПНИПУ. Окончил электротехнический факультет ФГБОУ ВПО ПНИПУ в 2012 г.

Посягин Антон Игоревич – ассистент кафедры АТ ФГБОУ ВПО ПНИПУ. Окончил электротехнический факультет ФГБОУ ВПО ПНИПУ в 2012 г.

Степченко Юрий Афанасьевич – заведующий отделом архитектур перспективных компьютерных систем Института проблем информатики Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), канд. техн. наук. Окончил факультет электротехники МЭИ в 1978 г. Защитил диссертацию по теме «Вычислительные комплексы распределённой конфигурации» в 1987 г.

Судаков Анатолий Иванович – доцент электротехнического факультета ФГБОУ ВПО ПНИПУ, канд. техн. наук. Окончил радиотехнический факультет Уральского политехнического института (г. Свердловск) в 1965 г. Защитил диссертацию по теме «Экспресс-анализ результатов автоматизированных испытаний синхронных электрических машин» в 1991 г. в Уральском политехническом институте.

Терлыч Андрей Евгеньевич – доцент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» ФГБОУ ВПО ПНИПУ, канд. техн. наук. Окончил электротехнический факультет Пермского ГТУ в 1997 г. Защитил диссертацию

по теме «Управление процессом экструзии полимеров при производстве кабелей» в 2012 г.

Труфанова Наталия Михайловна – заведующая кафедрой «Конструирование и технологии в электротехнике» ФГБОУ ВПО ПНИПУ, доктор техн. наук, профессор. Окончила факультет авиадвигателей ППИ в 1979 г. Защитила докторскую диссертацию по теме «Разработка методов расчёта процесса пластикации и рабочих органов экструзионного оборудования для пластмасс» в 1993 г.

Тюрин Сергей Феофентович – профессор кафедры АТ ФГБОУ ВПО ПНИПУ, доктор техн. наук, профессор. Окончил факультет систем управления летательных аппаратов Пермского военного института ракетных войск им. маршала Советского Союза В.И.Чуйкова в 1975 г. Защитил докторскую диссертацию в 1998 г.

Файзрахманов Рустам Абубакирович – заведующий кафедрой ИТАС ФГБОУ ВПО ПНИПУ, доктор экон. наук, профессор. Окончил электротехнический факультет ППИ в 1979 г. Защитил докторскую диссертацию по теме «Моделирование и управление материальными потоками пространственно распределенной производственной системы» в 2002 г.

Хижняков Юрий Николаевич – профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» ФГБОУ ВПО ПНИПУ, доктор техн. наук, доцент. Окончил электротехнический факультет ППИ в 1968 г. Защитил докторскую диссертацию по теме «Автоматизация автономных многоагрегатных электростанций на основе релейно-импульсных и нечетких регуляторов с применением нейронной технологии» в 2011 г.

Чабанов Евгений Александрович – доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» ФГБОУ ВПО ПНИПУ. Окончил электротехнический факультет Пермского ГТУ в 1997 г.

Шаронов Андрей Александрович – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» ФГБОУ ВПО ПНИПУ. Окончил электротехнический факультет ФГБОУ ВПО ПНИПУ в 2011 г.

Шилов Вадим Сергеевич – аспирант кафедры ИТАС ФГБОУ ВПО ПНИПУ. Окончил электротехнический факультет ФГБОУ ВПО ПНИПУ в 2012 г.

Щербинин Алексей Григорьевич – профессор кафедры «Конструирование и технология электрической изоляции» ФГБОУ ВПО ПНИПУ, доктор техн. наук, доцент. Окончил электротехнический факультет ППИ в 1987 г. Защитил докторскую диссертацию по теме «Процессы движения и теплообмена нелинейных полимерных сред в условиях фазового перехода в каналах экструзионного оборудования» в 2006 г.

Южаков Александр Анатольевич – заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика» ФГБОУ ВПО ПНИПУ, доктор техн. наук, проф. Окончил электротехнический факультет ППИ в 1979 г. Защитил докторскую

диссертацию по теме «Методологические и теоретические основы проектирования адаптивных системных аналого-цифровых преобразователей потоковой динамической архитектуры на основе нейронных технологий» в 1997 г.