

*Электротехника, 2015, №6, с. 2-3*

**55 лет кафедре микропроцессорных средств автоматизации ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ)**  
ПЕТРОЧЕНКОВ А.Б.

*Электротехника, 2015, №6, с. 4-7*

**Концептуальное проектирование и направления инжиниринга повышения энергоэффективности предприятий**

ЛЯХОМСКИЙ А.В., ПЕТРОЧЕНКОВ А.Б., ПЕРФИЛЬЕВА Е.Н.

Рассмотрено одно из основных направлений перехода от инерционного сценария повышения энергоэффективности к инновационному за счет развития системного управления энергетическими ресурсами. Дана характеристика предметной области повышения энергоэффективности. Сделан вывод о целесообразности применения методов концептуального проектирования для повышения энергоэффективности. Определены смысловые аспекты, концепты, концептуальные конструкции системного управления энергетическими ресурсами. Разработан метод оценки состояния управления энергоресурсами с использованием мультипликативной модели влияния технологических и управленческих факторов с применением теории распознавания образов. Выполнено исследование и дана оценка современного состояния управления энергоресурсами на предприятиях горнометаллургических отраслей. На основании полученных результатов определены основные направления и объекты инжиниринга повышения энергоэффективности в рамках системного управления энергетическими ресурсами.

*Ключевые слова:* сценарии повышения энергоэффективности, процесс энергопотребления, системное управление энергетическими ресурсами, концептуальное проектирование, инжиниринг повышения энергоэффективности, энергоменеджмент предприятий горно-металлургических отраслей

One of the main directions of changeover from the inertial scenario to innovative scenario of increasing of the energy efficiency by system management of energy resources is considered. The characteristic of the subject area of increasing of the energy efficiency is given. The conclusion about the appropriateness of the methods of conceptual design for increasing of the energy efficiency is made. Semantic aspects, concepts and conceptual models of system of management of energy resources are defined. A method for assessment of energy management using a multiplicative model the impact of technological and managerial factors with the use of pattern recognition theory is developed. The investigation and the evaluation of the current state of energy management in the mining and metallurgical industries are given. Guidelines and engineering facilities to increasing of the energy efficiency in the framework of the system of management of energy resources on the basis of the results obtained are given.  
*Key words:* energy efficiency scenarios, process energy consumption, systematic management of energy resources, conceptual design, engineering, energy efficiency, energy management of metallurgical industries

*Электротехника, 2015, №6, с. 8-12*

**Состояние и перспективы использования аппаратно-программных симуляторов электротехнических комплексов**

КОСТЫГОВ А.М., ЗЮЗЕВ А.М., СОЛОДКИЙ Е.М., КУХАРЧУК А.В., МУДРОВ М.В., НЕСТЕРОВ К.Е.

Дан обзор публикаций по симуляторам электромеханических устройств и электроэнергетических систем. Приведены примеры структур, обсуждается технология создания и особенности построения программно-аппаратных симуляторов различного назначения. Отмечается, что практический интерес к использованию симуляторов в области электроэнергетики и электротехники обусловлен сложностью проведения экспериментальных исследований и пуско-наладочных работ, их высокой стоимостью и возможными рисками повреждения оборудования при наладке и испытаниях. Показано, что современные средства обработки информации, включая программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), позволяют решать уравнения математических моделей сложных электротехнических комплексов и систем в «реальном времени», что обеспечивает возможность построения программно-аппаратных симуляторов, которые могут эффективно использоваться для проектных и пусконаладочных работ, а также с целью обучения студентов и производственного персонала предприятий.

*Ключевые слова:* электроэнергетическая система, модель, симулятор электропривода, реальное время.

Gives a review of publications on simulations of electromechanical devices and electrical power systems. Examples of simulator's structures are proposed, it is discussed the technology of creation and design features software-hardware simulators for various purposes. It is noted that practical interest in the use of simulator in the field of electricity and electrical engineering are due to the complexity of experimental tests and balancing and commissioning and their high cost and potential risks of damage of equipment during balancing and commissioning and test runs. It is shown that modern means of information processing, including programmable logic integrated circuits (FPGAs), allow you to solution of mathematical models of complex electrical systems and systems «real time», enabling the construction of software and hardware simulators that can be effectively used for the design and starting up and adjustment work, and to educate students and the production staff of enterprises.

*Key words:* electrical power systems, model, simulator of electric drives, real time.

*Электротехника, 2015, №6, с. 13-18*

### **Программно-аппаратный комплекс удаленного мониторинга и анализа энергетических параметров**

ЛЯХОМСКИЙ А.В., ПЕРФИЛЬЕВА Е.Н., КЫЧКИН А.В., ГЕНРИХ Н.

Приведены результаты аналитического обзора базовых и перспективных функциональных особенностей современного программно-аппаратного комплекса удаленного мониторинга и анализа энергетических параметров. В качестве центрального элемента комплекса рассматривается информационная платформа Open JEVIs, обладающая открытыми интерфейсами аппаратного, программного и сетевого обеспечения.

Предложена схема организации мониторинга и анализа энергетических параметров на базе Open JEVIs. Даны основные технические характеристики средств сбора данных – устройств удаленной телеметрии VIDA. Приведены результаты экспериментальных исследований промышленных объектов с использованием программно-аппаратного комплекса удаленного мониторинга и анализа энергетических параметров предложенной структуры.

*Ключевые слова:* система энергетического мониторинга, удаленный мониторинг, энергопотребление, энергетические параметры, энергетическая эффективность, Open JEVIs, VIDA

The results of analytical review of basic and advanced functional features of modern system for energy data remote monitoring and analysis are presented. Information platform Open JEVIs, having hardware, software and network open interfaces, is used as a central element of the system. The organization scheme of the energy data monitoring and analysis based on Open JEVIs is proposed. The main technical characteristics of data collection tools – remote telemetry devices VIDA are given. The results of experimental studies of industrial facilities using the hardware and software system for energy data remote monitoring and analysis are proposed. *Key words:* energy monitoring, remote monitoring, energy consumption, energy data, energy efficiency, Open JEVIs, VIDA.

*Электротехника, 2015, №6, с. 19-25*

### **Построение онтологической модели жизненного цикла электротехнического оборудования**

ПЕТРОЧЕНКОВ А.Б., БОЧКАРЕВ С.В., ОВСЯННИКОВ М.В., БУХАНОВ С.А.

Рассматривается модель интеллектуальной среды, осуществляющей поддержку функционирования электротехнических объектов и их элементов. Решение проблем интеграции инженерных данных в настоящее время принято рассматривать в рамках построения онтологий предметных областей. Основанные на онтологическом моделировании интеграционные семантические модели для инженерных объектов разрабатываются как на отраслевом, так и на международном уровне. Использование семантических и онтологических стандартов помогает наладить обмен и сопоставление данных, выявить коллизии и согласовать противоречия. Дисциплина работы с данными при такой стандартизации, является гораздо менее обременительной, чем при иных технологических решениях, предусматривающих унификацию программных средств и интерфейсов работы. В соответствии с методикой разработки стандартов информационных протоколов и их реализаций (ISO 10303) для разработки онтологии предметной области, которая реализует интеллектуальную среду поддержки функционирования энергетических объектов и их элементов, необходимо построить функциональную и информационные модели рассматриваемой предметной области и на их основе построить онтологию. Функциональная модель жизненного цикла электротехнического оборудования позволила выявить множество процессов и объектов и их свойств, которые должны составить онтологию предметной области «Жизненный цикл оборудования электротехнических комплексов и систем». Предлагаемая структура метаонтологии является основой структурной модели интеллектуальной среды для обмена информацией между субъектами предметной области и обеспечит поддержку функционирования на современном уровне.

*Ключевые слова:* онтология, жизненный цикл, электротехническое оборудование, электротехнические комплексы и системы, структурная модель.

The article discusses the development of the model intellectual environment, performing support the operation of Electrotechnical objects and their elements. Solution to the problems of integration of engineering data is now usually regarded as part of the construction of domain ontologies. Based on the ontological modeling of semantic integration model for engineering objects are developed on the industry and on the international level. Using semantic and ontological standards helps to establish the exchange and comparison of data, identification of conflicts and coordination of contradictions. The discipline of working with data in such standardization is far less onerous than in other technological decisions for the unification of software tools and interfaces work. In accordance with the methodology of the development of

standards of information protocols and their implementations (ISO 10303) for the development of domain ontology, which implements the intellectual environment to support the operation of power plants and their components, it is necessary to build a functional model and information the subject area and on the basis of their build ontology. Functional model of life cycle electrotechnical equipment has identified a number of processes and objects and their properties to create domain ontologies «life cycle of the elements of Electrotechnical complexes». Proposed structure metaontology is the basis of a structural model of the intellectual environment for the exchange of information between entities subject area and provide support to the functioning of modern level.

*Key words:* ontology, life cycle, electrotechnical equipment, electrotechnical complexes and systems, structural model.

*Электротехника, 2015, №6, с. 26-31*

### **Повышение интеграционной способности автоматизированных систем испытаний электротехнических изделий**

БОЧКАРЕВ С.В., ПОПОВ Д.А.

Рассмотрены особенности долговременного хранения информации сложных технических изделий. Показаны достоинства и недостатки различных типов систем управления базами данных для решения задачи повышения интеграционной способности электротехнических изделий. Рассмотрены реляционные базы данных, базы данных типа ключ-значение, большие таблицы и документо-ориентированные базы данных. Предложено и обосновано использование документо-ориентированных баз данных. Разработана иерархическая архитектура базы данных для долговременного хранения информации об испытаниях сложных технических изделий с возможностью динамического формирования метаданных. Рассмотрены различные варианты организации хронологических данных и их особенности. На основании особенностей типов представления данных сделаны заключения о применимости или неприменимости рассматриваемого решения для повышения интеграционной способности автоматизированных систем испытаний электротехнических изделий. Приведены результаты внедрения документо-ориентированной базы данных для решения поставленной задачи. Дана оценка производительности и скорости доставки информационных ресурсов, адаптивности информационных ресурсов, взаимодействия с объектно-ориентированными системами.

*Ключевые слова:* документо-ориентированная база данных, иерархическая структура, временные ряды, noSQL.

The features of long term complex technical products storage have been considered. Advantages and disadvantages of different types of database management systems (DBMS) to solve the problem of increasing integration ability of electrotechnical products have been showed. Considered relational databases, key-value type database, large tables databases and documentoriented databases. Proposed and justified the use of documentoriented database. The hierarchical database architecture for long term storage of information about the testing of complex technical products with the possibility of dynamic formation of metadata has been developed. The article discusses the various options for historical data and their features. Based on the features of the data types conclusions about the applicability or inapplicability of the decision under review to enhance the ability of automated systems integration testing electrical product shave been presented. The results of the implementation of documentoriented database for the task have been showed. Assessed the performance and the speed of delivery

of information resources, information resources adaptability, interaction with the object-oriented systems.

*Key words:* document-oriented data base, hierarchical structure, temporal data, noSQL.

*Электротехника, 2015, №6, с. 32-39*

**Методика создания программных комплексов для математического моделирования электроэнергетических систем**

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

Развивается и обсуждается методика построения программных моделирующих комплексов для математического моделирования электроэнергетических систем на основе теории графов и принципов структурного моделирования. Предложена и обоснована форма описания уравнений связи для моделирования динамического взаимодействия структурных элементов электроэнергетических систем. Предложенная форма обеспечивает модельную независимость и универсальность математического описания. Рассматриваются программные комплексы, которые строятся на базе разработанной методики. Обсуждаются их характеристики и назначение. Кроме собственно моделирования программные комплексы реализуют дополнительные задачи. Предусмотрены: возможность оперативного изменения пользователем структурной топологии системы; автоматический расчет параметров для многовариантных задач; учет алгоритмов защит; построение упрощенных моделей для настройки разнообразных систем автоматического управления; автоматическая настройка алгоритмов управления и их оптимизация.

*Ключевые слова:* электроэнергетическая система, компьютерное моделирование, уравнения связи.

Methods of program simulator complexes development for mathematical simulation of the power systems based on graph theory and structural simulation principles are developed and discussed. Form of equations to describe the dynamic interaction model for the structural elements of electric power systems is offered and proven. The proposed form provides a model-independent and universal mathematical description. Simulator complexes, which are based on the developed technique are discussed. Their characteristics and purpose are discussed. Simulator complexes give additional possibilities besides the actual simulation. Among them there are: the possibility of rapid changes in the structural topology of the system by the user; automatic calculation of parameters for multivariate tasks; accounting protection algorithms; development of simplified models for a variety of settings of automatic control systems; automatic tuning and optimization of control algorithms.

*Key words:* electric power system, computer simulation, interaction equations.

*Электротехника, 2015, №6, с. 40-44*

**О способе пуска асинхронного двигателя при изменении фазы напряжения на одной из двух обмоток статора**

РОМОДИН А.В., КУЗНЕЦОВ М.И.

Рассмотрены возможности пуска асинхронного двигателя при изменении фазы напряжения на одной из двух обмоток статора. Несмотря на существующее многообразие способов пуска машин переменного тока (прямой, реакторный, с помощью преобразователей частоты, устройств плавного пуска и дополнительных маломощных электроприводов) пуск мощных электроприводов остаётся актуальной задачей

электроэнергетики, поскольку двигательная нагрузка чувствительна к параметрам качества электрической энергии и сама оказывает влияние на питающую сеть. Данная задача особенно актуальна для систем промышленного электроснабжения со слабыми внешними связями с источниками питания. Асинхронные двигатели большой мощности часто имеют две обмотки статора, предназначенные для подключения к сети на разное напряжение. Экспериментальные данные исследований на физической модели позволили разработать новый способ плавного пуска асинхронного двигателя с двумя статорными обмотками, основанный на изменении угла фазы напряжения второй обмотки по отношению к базовой (первой) обмотке двигателя.

*Ключевые слова:* асинхронный электродвигатель, источник напряжения, фаза напряжения.

Paper is devoted questions of possibility of startup of the induction motor at a voltage phase change on one of two windings of the stator. Despite existing variety of ways of startup of ac machines (direct, impedance, by means of frequency converters, devices of the smooth it is empty also additional low power electric drives) the problem of startup of high powered drives remains an actual problem of electric power industry as impellent loading is sensitive to parametres of quality of electric energy and itself works upon the feed source. Especially given problem is actual for systems of an industrial electrical supply with weak external relations with power supplies. High power induction motor often have two windings of the stator intended for connection to a network on different voltage. The experimental data of researches on physical model allowed suggest a new way of a smooth start of the induction motor with two stators the windings, the angle of a phase of voltage of the second winding based on change in relation to a base (first) the motor winding.

*Key words:* induction motor, potential source, voltage phase.

*Электротехника, 2015, №6, с. 45-50*

### **Принципы построения адаптивных электромеханических систем управления с эталонными моделями**

ДАДЕНКОВ Д.А., КАЗАНЦЕВ В.П., ЛЯХОМСКИЙ А.В.

Рассмотрены принципы построения следящих адаптивных электромеханических систем управления предельного быстродействия с использованием эталонных моделей, обеспечивающих адаптацию к изменению параметров объекта управления и определенным изменениям внешней среды. Приведены функциональные структуры электромеханических систем с эталонными стационарными моделями и сигнальной самонастройкой, обеспечиваемой цифровыми адаптерами, а также рассмотрена специфика их синтеза, предполагающая реализацию двух темпов управления. Для адаптации к параметрам внешних воздействий и, как следствие, к режимам функционирования электромеханических систем управления в зоне «малых» и «больших» отклонений координат, функциональные структуры следящих электроприводов дополнены адаптивными эталонными моделями, которые устанавливаются на входе замкнутых систем управления и играют роль специфических задатчиков интенсивности. Приведены результаты имитационного моделирования электромеханической системы управления с адаптивной эталонной моделью в среде Matlab/Simulink, подтверждающие эффективность предложенных подходов.

*Ключевые слова:* электромеханическая система управления, эталонная модель, адаптация, сигнальная самонастройка, синтез дискретного управления, цифровой регулятор состояния

The principles of creation of the watching adaptive electromechanical control systems of limit speed with use of the reference models providing adaptation both to change of parameters of object control, and to certain changes of environment are considered. The functional structure of electromechanical systems with reference stationary models and signal selftuning provides digital adapters, and the specifics of their synthesis, assuming realization of two rates management are considered. For adaptation to parameters of external influences and, as a result, to the modes of functioning of electromechanical management systems in a zone of «small» and «big» deviations of coordinates, the functional structures servo electric drives are added by the adaptive reference models which are set on an input of closed control systems and play a role of specific device of intensity. The results of simulation modeling of electromechanical management system with the adaptive reference model in the environment of Matlab/Simulink confirming efficiency of the offered approaches are given.

*Key words:* electromechanical control system, reference model, adaptation, signal self tuning, synthesis of discrete control, digital state regulator.

*Электротехника, 2015, №6, с. 51-56*

### **Дискретно-непрерывные электромеханические системы управления с пассивной адаптацией**

КАЗАНЦЕВ В.П.

Рассмотрены вопросы построения дискретно-непрерывных электромеханических систем управления с надделением их функциями адаптации к изменениям параметров задающих воздействий и параметров датчиков движения, таких как скорость или положение рабочего органа приводимого в движение механизма. Поскольку адаптеры таких систем не участвуют непосредственно в коррекции управляющего воздействия электроприводов, такие системы принято называть условно адаптивными или системами с пассивной адаптацией. Как правило, системы пассивной адаптации позволяют существенно снизить чувствительность замкнутых систем управления электроприводами к вариациям его параметров. Однако такие системы могут выполнять и функции параметрической адаптации предшествующих фильтров электромеханических систем управления или информационно-измерительных преобразователей, решая, в частности, задачи формирования эталонного изменения координат системы. В этом случае ключевую роль в процессах преобразования информации о сигналах аддитивных воздействий электроприводов и датчиков движения в кусочно-постоянные аналоговые или цифровые сигналы играют экстраполяторы нулевого порядка. В статье показано, что экстраполяторы нулевого порядка, функционирующие в режимах с переменной частотой выборки информации, позволяют существенно расширить функциональные возможности электроприводов в отношении показателей качества управления электроприводами в условиях ограничения переменных электропривода и в отношении экономии времени на обработку измеряемой информации за счет возможностей сжатия информации. Приведена обобщенная функциональная структура пассивно адаптивных дискретно-непрерывных электромеханических систем управления с такого рода экстраполяторами. Приведены результаты имитационного моделирования в среде Matlab/Simulink пассивно адаптивных систем регулирования скорости электропривода постоянного тока с дискретным пропорционально-интегральным регулятором скорости и квазиинвариантной системы регулирования скорости с дискретным регулятором состояния, оснащенными задатчиками интенсивности и датчиками скорости с

экстраполяторами нулевого порядка, подтвердившие эффективность предложенного подхода.

*Ключевые слова:* электромеханическая система, дискретно-непрерывная система управления, адаптация, экстраполятор нулевого порядка, имитационное моделирование

Describes how to build discretecontinuous electromechanical control systems with their functions of adaptation to changes settings that influences and parameters of motion sensors, such as speed or position of the working bodydriven mechanism. Because the adapters of such systems do not participate directly in the correction of control action of actuators, such systems are called conditionally adaptive or systems with passive adaptation. Generally, passive adaptation can significantly reduce the sensitivity of the closed control systems of electric drives to variations of its parameters. However, such systems can perform parametric function and adaptation of previous filters electromechanical systems control or measurement converters, addressing, inter alia, the task of the reference coordinate system changes. In this case, a key role in the processes of conversion of signals of additive effects of actuators and sensors in a piecewisecontinuous analog or digital signals play a zeroorder hold device. In the present work shows that zeroorder hold operating modes with variable frequency sampling information can significantly extend the functionality of electric drives for both indicators of the quality of management of electric drives with variable motor drive control and save time on processing measured data by implementing data compression capabilities. Generalized functional structure of passive Adaptive discretecontinuous electromechanical control systems with this kind of zeroorder hold device. See also the results of the simulation in Matlab/Simulink passively adaptive system controlling the speed of a DC motor with discrete proportionalintegral speed control and speed control system with discrete state regulator equipped with arcs me setters intensity and speed sensors with zeroorder hold device, confirming the effectiveness of proposed technical solutions.

*Key words:* electromechanical control system, discrete-continuous system management, adaptation, zero order hold, simulation

*Электротехника, 2015, №6, с. 57-69*

### **Структурный синтез сложного электротехнического оборудования на основе метода удовлетворения ограничений**

БОЧКАРЕВ С.В., ОВСЯННИКОВ М.В., ПЕТРОЧЕНКОВ А.Б., БУХАНОВ С.А.

Рассматривается структурный синтез сложных многокомпонентных электроэнергетических систем. Выделяется основной недостаток существующих подходов к автоматизации решения класса задач структурного синтеза, заключающийся в необходимости трудоемкой программной реализации алгоритмов поиска решений и поддержке разработанного программного средства для учета всех изменений в методике расчета. Формулируется задача удовлетворения ограничений применительно к проблеме синтеза конфигурации и выделяются ее особенности. В качестве цели синтеза конфигурации принимается получение допустимой конфигурации в соответствии с установленными требованиями и приближающей характеристики конфигурации к оптимальным в соответствии с заданной целевой функцией. Приводится краткий обзор существующих методов поиска решений и анализируются их особенности. Описывается разработанная методика структурного синтеза на основе метода удовлетворения ограничений. Анализируются пути повышения эффективности методов за счет применения в алгоритме поиска решений комбинации эвристик. Рассматриваются основные особенности одного из алгоритмов, разработанного на основе алгоритма



локального поиска. Одной из особенностей алгоритма является стратегия поиска в двух подпространствах: подпространство недопустимых и подпространство допустимых решений. Предложена реализация разработанной методики.

*Ключевые слова:* электроэнергетические системы, структурный синтез, синтез конфигурации, задача удовлетворения ограничений, методы поиска решений.

The article deals with structural synthesis of complicated electric power systems. Provided the main drawback of the existing approaches to automation solutions class of structural synthesis of requiring timeconsuming software algorithms to find solutions and support software tool developed to account for any changes in the method of calculation. Formulated as constraint satisfaction problems in relation to the problem of configuration synthesis and highlights its features. As the purpose of the synthesis problem configuration is adopted to obtain a valid configuration in accordance with the requirements and approaches to optimal configuration characteristics in accordance with a predetermined objective function. Provides an overview of existing methods of solutions finding and analyzed their characteristics. Describes the developed method of structural synthesis method based on constraint satisfaction. Examines ways to improve the effectiveness of the methods by applying a combination of heuristics in the solutions find algorithm. The main features of one of the algorithms developed based on local search algorithm. One feature of the algorithm is a search strategy in the two subspaces: subspace unacceptable and subspace acceptable solutions. Proposed implementation of the developed method.

*Key words:* electric power systems, structural synthesis, configuration synthesis, constraint satisfaction problem, solutions finding methods.

**Генеральному директору ОАО «ВНИИКП» Геннадию Ивановичу Мещанову – 75 лет**

**Барский Виктор Алексеевич (К 80-летию со дня рождения)**