

Применение современного программного обеспечения для проектирования высокодинамичных электроприводов. Ч. 1

ИШУТИНОВ В.В., САВИН А.А.

Изложены требования, предъявляемые к высокодинамичным приводам, которые характеризуются рядом противоречивых показателей, таких как массогабаритные, энергетические, динамические. Выполнен обзор методов проектирования высокодинамичных электроприводов и электродвигателей для них. Одним из возможных методов проектирования рассматриваемых электроприводов и электродвигателей является комплексный подход, который позволяет учитывать влияние различных частей электропривода друг на друга. Представлены возможности современного программного обеспечения, которое позволяет реализовать такой комплексный подход. Рассмотрены возможные этапы проектирования при использовании современного программного обеспечения и комплексного подхода. При комплексном подходе в качестве возможных могут быть выбраны следующие этапы проектирования: предварительный электромагнитный расчет электродвигателя, оптимизация методами нелинейного программирования с помощью генетического алгоритма, полевой расчет с помощью метода конечных элементов, имитационное моделирование электропривода, междисциплинарный электромагнитный и тепловой расчеты, 3D-моделирование и механический расчет. Приведены результаты расчетов, имитационного моделирования электропривода, а также опытные данные макетного образца.

Ключевые слова: высокодинамичные электроприводы, вентильные электродвигатели постоянного тока с постоянными магнитами, программный комплекс, оптимизация, критерии оптимальности, полевой расчет, переходные процессы.

The requirements for a high dynamic drive, which describe range of inconsistent rates, such us, mass and dimensions rates, power-producing rates, dynamic rates are presented. A review of methods for design of dynamic electric drive and electric motor are conduct. One of possible methods for design of consider dynamic electric drive and electric motor comprehensive approach, which enable consideration effect of different parts of electric drive against each other are appear. The capabilities of modern software, which make it possible implement such comprehensive approach are presented. Possible stages of the design trajectory using of the modern software and comprehensive approach are considered. As possible stages of the design at comprehensive approach can be choose following stage are stage of preliminary electromagnetic calculation, stage of optimization of nonlinear programming or genetic algorithm, stage of field calculation with assistance finite element method, stage of simulation modeling of electric drive, stage of interdisciplinary electromagnetic and thermal design, stage of 3D-modeling and mechanical calculation. The calculation results of mathematical modeling of a electric drive, as well as experimental data model sample are produced.

Key words: high dynamic electric drives, brushless DC motor with permanent magnet, bundled software, optimization, cost functions, field analysis, transient process.

Условия оптимизации и эффективность демпфирования электроприводом колебаний упругих механизмов

ПЯТИБРАТОВ Г.Я.

Колебания, возникающие в упругих конструкциях и протяжённых механических передачах рабочих машин, приводят к увеличению ошибок регулирования управляемых координат и возрастанию динамических нагрузок в электромеханических системах с упругими связями (ЭМС УС), что снижает качество выпускаемой продукции, надёжность и долговечность работы механизмов и приводит к значительному экономическому ущербу. Практический интерес представляет определение предельных возможностей электропривода (ЭП) при демпфировании колебаний упругих механизмов. Рассмотрена математическая модель ЭМС с УС в виде направленного графа Мэйсона, определены основные факторы, влияющие на эффективность демпфирования ЭП упругих колебаний механических передач рабочих машин, найдены условия оптимизации и рациональные параметры регуляторов СПР, обеспечивающие наименьшую амплитуду колебаний упругих механизмов электроприводом. Эффективность предложенных рекомендаций по реализации регуляторов ЭМС с УС подтверждена на практике при модернизации ЭП вальцов типа АТ5002301, осуществляющих переработку пластических материалов и сбалансированных манипуляторов типа МП100. Показано, что эффективность демпфирования ЭП колебаний в упругих механических передачах рабочих машин зависит от структуры и параметров регуляторов СПР, рациональные значения которых необходимо определять с учётом резонансной частоты ЭМС с УС. Предложенные настройки регуляторов СПР позволили обеспечить минимально возможную амплитуду колебаний момента в упругих передачах механизмов, вызванных изменением возмущающего воздействия.

Ключевые слова: электропривод, оптимизация, демпфирование колебаний, упругие передачи.

The oscillations, occurring in elastic constructions and long mechanical transmissions of executive machines, are result in increasing of control errors and dynamical loads in electric drive systems with elastic elements, which are decreasing quality of manufacturing production, reliability and durability of mechanical equipment and leads to a significant economical damage. Definition of marginal capabilities of electric drive for decreasing of elastic oscillations in mechanisms is interesting from the view point of practice. In this article is presented a mathematical model of electrical drive with elastic mechanism as a Mason's directed count. The main factors, impacting on electric drive damping efficiency are defined. The optimization conditions and rational parameters of control system correctors, which are providing a minimal oscillation magnitude of elastic mechanisms by electric drive, are founded. The efficiency of suggested recommendations in realization of designed correctors was confirmed in practice during the modernization of electric drive AT-500-230-1, which makes a processing of plastic materials, and balanced manipulators MP-100. In result of made researches (theoretical and practical) it can be seen that elastic oscillations damping efficiency by electric drive in executive machines depends of structure and parameters of correctors. Rational values of corrector's parameters must be defined with respect to resonant frequency of electric drive system. Proposed settings of correctors allowed to provide a minimal torque oscillations magnitude in

elastic elements of mechanisms, caused by varying of perturbing signal.

Key words: electric drive, optimization, damping of oscillation, elastic transmissions.

Электротехника, 2015 №7, с. 15-21

Исследование температурного поля мощного гидрогенератора с воздушным охлаждением

ЛИ ВЭЙЛИ, СЮЕ И, ЧЭНЬ ЮЙХУН, ДАНИЛЕВИЧ Я.Б.

При вращении мощного гидрогенератора с одной парой полюсов и воздушным охлаждением ротора и статора центробежные силы и силы Кориолиса оказывают существенное влияние на воздушные потоки и теплообмен. Методом конечных элементов выполнены вентиляционный и тепловой расчёты ротора и статора.

Исследовано влияние характера движения воздушных потоков в вентиляционных каналах сердечника статора, междуполюсном пространстве и рабочем зазоре на распределение температуры ротора. Расчетные данные удовлетворительно согласуются с результатами экспериментальных исследований. Показано, что предлагаемый метод расчета можно использовать при анализе теплового состояния гидрогенераторов мощностью до 1000 МВт с полной системой воздушного охлаждения.

Ключевые слова: гидрогенератор, воздушная система охлаждения, температурное поле, воздушные потоки.

In this paper, considering the rotation effect of generator, the turbulent flow-thermal coupling of the fluid and temperature field under one couple of rotor is calculated using finite volume element method according to the flow period of fluid around rotor, because the centrifugal force and Coriolis force that the rotation of the rotor of large air-cooled hydro-generator make the flow of rotor cooling medium change. And the changes of flow rates of yoke, pole gap and the gap between stator and rotor and their effects on the temperature distribution of rotor are researched when rotor is rotating. Compared the calculating value of temperature with its measured value, the accuracy of this method is proved. Using this method, the problem of the immeasurable temperature that the generator operates normally generates is solved, which provides theoretical basis for the development of larger air-cooled 1000MW hydro-generator.

Key words: hydro-generator; rotor rotated; air cooling system, temperature field, the air flows.

Электротехника, 2015 №7, с. 22-27

Преобразователь постоянного тока для систем электроснабжения с нетрадиционными источниками энергии

АНТОНОВ Б.М., БАРАНОВ Н.Н., КРЮКОВ К.В.

Рассмотрены особенности нетрадиционных источников энергии, как электротехнических устройств. Предложена новая схема преобразователя постоянного тока. Выполнен анализ его характеристик в сравнении с известным преобразователем по схеме Чука.

Исследования показали, что с учётом потерь в системе новый преобразователь может повышать напряжение источника питания в 10 и более раз, при этом его КПД достигает 85–95% в зоне длительной работы.

Ключевые слова: нетрадиционные источники энергии, системы электроснабжения, преобразователи постоянного тока.

Рассмотрены особенности нетрадиционных источников энергии, как электротехнических устройств. Предложена новая схема преобразователя постоянного тока. Выполнен анализ его характеристик в сравнении с известным преобразователем по схеме Чука.

Исследования показали, что с учётом потерь в системе новый преобразователь может повышать напряжение источника питания в 10 и более раз, при этом его КПД достигает 85–95% в зоне длительной работы.

Ключевые слова: нетрадиционные источники энергии, системы электроснабжения, преобразователи постоянного тока.

The paper discusses the features of alternative energy sources as electrical devices and structures of power supply systems based on them. The paper shows new circuit of the dc-dc converter. Also it shows power characteristics of the proposed dc-dc converter and a comparative simulation with the Cuk-converter. A mathematical analysis and computer simulation has shown that the proposed converter can increase the power supply voltage is 10 or more times, while its efficiency reaches 85–95% in the area of continuous operation.

Key words: alternative energy source, DC-DC converter, PV module, pulse-width modulation.

Электротехника, 2015 №7, с. 28-35

Адаптивный структурный анализ входных сигналов цифровой релейной защиты и автоматики

АНТОНОВ В.И., НАУМОВ В.А., ФОМИН А.И., СОЛДАТОВ А.В.

Развиваются основы теории адаптивного структурного анализа сигналов электроэнергетических систем. Показана связь порядка сигнала текущего режима электрической системы с эффективным порядком структурной модели. Предложены оптимальные структурные модели для сигналов периодического и переходного режима электрической системы, а также гибридные модели, удобные для реализации в цифровых системах релейной защиты. Развиваются методы распознавания и декомпозиции сигнала переходного режима при высокой частоте дискретизации. Показано, что наиболее оптимальным методом повышения разрешающей способности адаптивных структурных моделей при обработке сигналов с высокой частотой дискретизации является внутримодельная децимация отсчетов. Приведены примеры структурного анализа сигналов реальных аварийных процессов в электрической сети.

Ключевые слова: адаптивный структурный анализ сигналов, структурная модель, собственные моды сигнала, декомпозиция сигнала электрической сети, сигналы с высокой частотой дискретизации, внутримодельная децимация.

The basics of the theory of adaptive structural analysis of power system signals are developed. The relationship between the orders of the current mode signal of the electrical system and efficient order of structural model is shown. The optimal structural models for periodic signals and transient of electrical system as well as hybrid models that are suitable for implementation in digital protection relay are proposed. The methods of recognition and decomposition of the transient signal at a high sampling rate are developing. It is shown that the best method to improve the resolution of the structural models of adaptive signal processing with a high sampling rate is sample decimation within model. Examples of structural analysis of the real

fault signal in the electrical network are proposed.

Key words: adaptive structural analysis of signals, structural model, signal eigenmodes, signal decomposition, signals with a high sampling rate, within model sample decimation.

Электротехника, 2015 №7, с. 36-40

Выбор структуры фотоэлектрической системы электроснабжения

ЛОБОВ Б.Н., КОЛПАХЧЬЯН П.Г., БЕЛОКОПЫТОВ С.А., АЛЬ ДЖУРНИ РАГХАД АЛИ МАДЖИД
Рассмотрены вопросы выбора рациональной структуры и состава системы электроснабжения на основе фотоэлектрических преобразователей. Отмечено, что для создания системы электроснабжения сложных объектов, таких как крупные офисные или жилые здания, лечебные учреждения необходимо применять многокритериальные методы определения рациональной структуры рассматриваемых систем. Предлагается новый подход к решению задач рационального выбора варианта фотоэлектрической системы электроснабжения по многим критериям (дискретных задач векторной оптимизации). Обоснованы критерии выбора структуры системы электроснабжения, определены значения весовых коэффициентов важности критериев. На примере системы автономного электроснабжения госпиталя в условиях Ирака произведен выбор устройств и определены возможные варианты создания. Составлена таблица рейтинговых оценок различных вариантов построения системы электроснабжения: автономных, гибридных батарейно-сетевых, соединенных с сетью. При выборе лучшего варианта использован метод многокритериальной оптимизации ЭЛЕКТРА. Приведён пример выбора наилучшего варианта системы электроснабжения из семи рассматриваемых. Обосновано, что использование многокритериального подхода позволяет получить более обоснованный результат по сравнению с однокритериальным подходом и может быть рекомендовано для выбора структуры и состава систем децентрализованного электроснабжения.
Ключевые слова: фотоэлектрическая система, ответственный потребитель, таблица рейтинговых оценок, метод ЭЛЕКТРА.

The article discusses the choice of rational structure and composition of the power supply system based on photovoltaic cells. It is noted that the power supply system to create complex objects, such as large office or residential buildings, hospitals need to apply multi-criteria methods for determining the rational structure of the systems under consideration. A new approach to solving problems of rational choice option photovoltaic power supply system on many criteria (discrete vector optimization problems). The criteria of choice of power supply system, the values of the weighting factors of importance criteria. For example, autonomous power supply system of the hospital in a variety of devices made of Iraq and to identify possible options for the establishment. A table of ratings of various variants of the electricity system: autonomous, hybrid battery and network connected to the network. When choosing the best option method is used multi-criteria optimization ELECTRA. An example of the choice of the best variant of the power supply system of the seven examined. It is proved that the use of multi-criteria approach provides a more reasonable result in comparison with the one-criterion approach and can be recommended for the choice of the structure and composition of the decentralized power supply systems.

Key words: photovoltaic system, responsible consumer, table rating method ELECTRA.

Электротехника, 2015 №7, с. 41-45

Исследование влияния неоднородности электрической печи сопротивления как

объекта управления

РУБЦОВ В.П., ГОРЯЧИХ Е.В., ЩЕРБАКОВ А.В.

Предложена модель электрической печи сопротивления, учитывающая распределение температур внутри печи. Приведено описание структурной схемы регулятора температуры электрической печи сопротивления, учитывающей ее неоднородность как объекта управления и нелинейность характеристик регулирующих элементов.

Предлагаемая модель регулятора является универсальной и позволяет исследовать свойства регулятора температуры для поиска наилучших способов введения обратной связи как от отдельных элементов печи, так и от совокупности элементов. Приведена имитационная модель регулятора температуры в среде Simulink Matlab/Simulink.

Выполнено сравнение динамических характеристик температуры экспериментального стенда и имитационной модели. Рассмотрено влияние места установки датчика температуры на основные показатели работы системы.

Ключевые слова: электрическая печь сопротивления, нагреватель, футеровка, регулятор температуры, датчик температуры.

The developed refined model of electric resistance furnaces taking into account the temperature distribution inside the furnace is proposed. The description of the structural diagram of the temperature controller electric resistance furnace taking into account the irregularity of the EPS as an object of control and the nonlinear characteristics of the regulatory elements is provided. The proposed model of the controller is universal and allows to investigate the properties of the temperature controller to search for the best ways of introduction of the feedback, both from individual elements of the furnace, and from the elements. The simulation model of the temperature controller in Simulink Matlab/Simulink is provided. The dynamic characteristics of the temperature of the experimental stand and simulation models is compared. The impact of the installation location of the temperature sensor on the basic performance of the system is analyzed.

Key words: electric resistance furnace, heater, ceramic thermal insulation, temperature controller, thermo couple.

Электротехника, 2015 №7, с. 46-50

Расчет мощности потерь в диодах мостового выпрямителя с активно-емкостной нагрузкой

ПАДЕРОВ В.П., ВИЛЬ А.В.

Приводятся аналитические соотношения для более точного расчета мощности потерь проводимости в диодах однофазного мостового выпрямителя с активно-емкостной нагрузкой мощностью до 200Вт по параметрам диодов. Существующие методы аналитического расчета мощности потерь проводимости в диодах не являются достаточно точными. Погрешность мощности потерь уменьшена вследствие использования более точной SPICE модели диодов по сравнению с кусочно-линейной моделью, учетом потерь при протекании обратных токов диодов и учетом пилообразной формы токов через диоды мостового выпрямителя. Увеличение точности

расчетов подтверждено сравнением расчетов по выведенным аналитическим соотношениям с результатами схемотехнического моделирования в программе HSPICE. Погрешность расчета мощности потерь по предлагаемым соотношениям не превышает 5%, что находится в диапазоне реального отклонения параметров диодов мостовых выпрямителей. Расчеты мощности потерь по известным аналитическим соотношениям могут давать погрешности более 50%. Выведенные аналитические соотношения могут использоваться при разработке высокоэффективных источников питания электронной аппаратуры.

Ключевые слова: мостовой выпрямитель с активно-емкостной нагрузкой, формула для расчета мощности потерь

The article presents the analytical relations for a more accurate calculation of conduction power losses in diodes of the single phase bridge rectifier with active capacitive load having power up to 200 W based on diode parameters. Existing methods of analytical calculation of the conduction power losses in the diodes are not precise enough. The error in power loss is reduced both by using more accurate SPICE diode models compared to the piecewise linear model and by taking into account losses due to reverse current flow and saw tooth shapes of the currents through the diodes of the rectifier bridge. Improved accuracy of the calculations is confirmed by comparison of calculation results obtained by existing and proposed analytical relations with the results of the circuit simulation using HSPICE program. The error amount of power losses obtained by the proposed relations does not exceed 5%, which is in the range of a real diode parameter deviation of the bridge rectifier. Calculations of power losses by known analytical expressions can give an error of more than 50%. The derived analytical expressions can be used in development of high efficiency power sources of electronic equipment.

Key word: bridge rectifiers with resistive capacitive load, expression for switching power losses calculation.

Электротехника, 2015 №7, с. 51-57

Наведенные перенапряжения на холостых обмотках трансформаторов: оценка напряжений и защитные мероприятия

ЛАРИН В.С.

Рассмотрены основные механизмы передачи напряжения между обмотками трансформаторов, дана теоретическая оценка значений наведенных перенапряжений. Изложены подходы к экспериментальной оценке значений наведенных перенапряжений и представлены практические примеры применения этих подходов. Рассмотрены рекомендации действующих нормативных документов по защите от наведенных перенапряжений, возникающих при воздействии быстрых переходных перенапряжений. Предложены мероприятия по защите от наведенных перенапряжений резонансного характера, возникающих при воздействии колебательных напряжений.

Ключевые слова: обмотки трансформаторов, наведенные перенапряжения, холостые обмотки, неиспользуемые обмотки, резонансные частоты обмоток, оценка перенапряжений, защита от перенапряжений

This paper reviews main mechanisms of voltage transfer between transformer windings as well as theoretical estimation of transferred overvoltage magnitudes. The approaches for experimental estimation of transferred overvoltage magnitudes are stated and practical examples of application of these approaches are presented. Recommendations of actual normative documents on protection against transferred overvoltages caused by fast transient overvoltages are described. Measures on protection against resonance transferred overvoltages caused by impact of oscillatory voltages are proposed.

Key words: transformer windings, transferred overvoltages, nonleaded windings, nonused windings, winding resonant frequencies, overvoltage estimation, overvoltage protection

Электротехника, 2015 №7, с. 58-65

Аналитическое и модельное исследование асинхронной машины с фазным ротором при положительных скольжениях

герман-галкин С.Г.

Исследованы характеристики асинхронной машины с фазным ротором (машины двойного питания) при положительных скольжениях. Машина двойного питания (МДП) позволяет регулировать внешний и внутренний потоки активной и реактивной мощности на любой частоте вращения ротора. Эта особенность МДП позволяет строить различные электромеханические системы: энергосберегающие электроприводы для транспортных систем; генераторы с переменной частотой вращения вала; энергосберегающие нагрузочные стенды для электрических машин и двигателей внутреннего сгорания; энергоэффективные стенды для испытания асинхронной машины с фазным ротором без дополнительной нагрузки. Исследованы следующие основные режимы работы МДП: двигательный и генераторный режимы работы на частоте ниже синхронной; двигательный и генераторный режимы работы на частоте выше синхронной. Выполненный анализ позволил определить основные свойства МДП: направление потока активной мощности в статоре и роторе свидетельствует о том, что при положительном скольжении возникает положительная энергетическая обратная связь; двигательный режим работы МДП имеет место при отрицательной фазе модуляции, а генераторный – при положительной; активная мощность, преобразуемая в машине, пропорциональна фазе модуляции; знак реактивной мощности в цепи статора зависит от соотношения напряжения ротора и скольжения. Виртуальная модель МДП построена в пакете imPower System среды Matlab Simulink. На модели исследованы статические и динамические характеристики МДП. Эти характеристики подтвердили теоретические результаты анализа.

Ключевые слова: асинхронная машина с фазным ротором, машина двойного питания, потребление энергии, энергоэффективность, модельные исследования.

In the article were investigated the characteristics of asynchronous machine with a wound rotor (the double fed machine) and positive slides. The double fed machine (DFM) allows adjustment of an external and an internal flows of the active and reactive power at any speed of rotation of the rotor. This feature of DFM allows to build various electromechanical systems such as: power efficient electric drives for transport systems; power generator with variable

speed; power efficient load for electric machines and diesels engines; energy efficient stands for asynchronous machine with wound rotor without additional load drive. In the article all DFM modes of operation are considered in detail: motor and generator modes of operation at the speed below the synchronous; motor and generator modes of operation at the speed above the synchronous. In the article were investigated all the listed modes. The main properties of DFM obtained on the basis of analysis: direction of active power flows in the stator and rotor circuits testifies that when slips in DFM are positive, a closed energy loop is formed which is the bases for building an energy saving test stand; motor mode of DFM occurs with negative modulation phase, generator mode takes place with positive modulation phase; the value of active power, transformed in the machine, is proportional to the value of modulation phase; sign of reactive power in the stator circuit depends on the ratio of voltage and slide. Virtual model of the DFM was built in the package SimPower System environment Matlab Simulink. In the model was studied the static and dynamic characteristics of DFM. These characteristics confirmed the results of theoretical analysis.

Key words: asynchronous machine with wound rotor, double fed machine, energy consumption, energy efficiency, modeling study.

Электротехника, 2015 №7, с. 58-65

Влияние параметров ферромагнитного экрана на эффективность линейного индукционно-динамического преобразователя

БОЛЮХ В.Ф., ОЛЕКСЕНКО С.В.

С помощью интегрального показателя эффективности исследовано влияние геометрических параметров ферромагнитного экрана на работу линейного индукционно-динамического преобразователя. С использованием метода локальной оптимизации получены значения геометрических параметров экрана, при которых обеспечиваются наилучшие показатели преобразователя для различных вариантов оценки основных показателей. Экспериментально установлено, что ферромагнитный экран в зависимости от геометрических параметров увеличивает скорость якоря до 47%, уменьшает максимальный ток в индукторе до 35% и увеличивает время достижения максимального тока до 21% по сравнению с вариантом преобразователя без ферромагнитного экрана. Получено удовлетворительное согласие между экспериментально измеренными и рассчитанными показателями ЛИДП.

Ключевые слова: линейный индукционно-динамический преобразователь, ферромагнитный экран, компьютерная модель, интегральный показатель эффективности, экспериментальные исследования.

Using the integral indicator of the effectiveness investigated the influence of geometrical parameters of ferromagnetic shield to work of a linear induction dynamic converter. Using the method of local optimization, the values of geometrical parameters of the screen, which provide the best performance converter for different assessment of key indicators. It was established experimentally that the ferromagnetic screen depending on the of geometrical parameters of the armature speed increases to 47%, reduces the maximum current in the inductor to 35% and increases the time to reach the maximum current up to 21% compared with one converter without ferromagnetic screen. Satisfactory agreement was obtained between the experimentally measured and calculated parameters of the converter.

Key words: linear induction-dynamic converter, ferromagnetic shield, computer model, integral indicator of the effectiveness, experimental investigations.

Электротехника, 2015 №7, с. 74

Ольгерд Владиславович Слежановский (К 95-летию со дня рождения)