

Адаптивные интегрирующие устройства для управления силовыми вентильными преобразователями

ДУДКИН М.М., ЦЫТОВИЧ Л.И.

Рассмотрены адаптивные интегрирующие устройства синхронизации, фазосдвигающие устройства и аналого-цифровые преобразователи, отличающиеся высокой устойчивостью внешним помехам, точностью и способностью адаптироваться к изменяющимся параметрам напряжения сети. Показано, что интегрирующее развертывающее преобразование, положенное в основу построения систем управления силовыми вентильными преобразователями, обеспечивает высокий уровень помехоустойчивости и адаптации ВП к нестабильным параметрам напряжения сети в стационарных и автономных системах электроснабжения, значительно превосходя при этом аналогичные показатели серийно выпускаемых силовых преобразователей отечественного и зарубежного производства системами управления, построенными по принципу выборки мгновенных значений информативной координаты.

Ключевые слова: интегрирующий развертывающий преобразователь, система управления, силовой вентильный преобразователь, помехоустойчивость.

Adaptive integrating lockers, phase shifting devices and analog-digital converters, which are distinguished by a high interference immunity to the external interference signals, accuracy and ability to adapt to the changing parameters of mains voltage are considered. It has been shown that integrating scanning conversion in the base of construction of control systems of power valve converters contributes to a high level of interference immunity and adaptation of VC to the unstable parameters of mains voltage in the stationary and autonomic based power supply systems, outgoing with this considerably the analogous indicators of the commercial power converters of homemade and imported production with the control systems constructed on the principle of momentary values c sampling of information coordinate.

Key words: integrating scanning converter, control system, power valve converter, interference immunity.

Информационная составляющая мехатроники

СМИРНОВ Ю.С., ЮРАСОВА Е.В., ЦЫТОВИЧ Л.И., ФУНК Т.А.

Развитие наукоемких направлений – авиации, космонавтики, радиоэлектроники и атомной промышленности привело к прогрессу в электронике, что сделало возможным создание «разумных» устройств, которые в большинстве задач заменяли мускульную силу человека и стали относиться к мехатронным системам (МС). Они агрегатировали электромеханику и электронику, которые на основе заложенного в них человеком интеллекта, вырабатываемой и получаемой информации воздействуют на рабочий механизм. В статье показана превалирующая роль информационного обеспечения в процессе повышения эффективности МС, обладающих интеллектуализацией, адаптацией, самоорганизацией, оптимизацией и синергическим эффектом, достигаемым за счет агрегатирования и повышения уровня электронизации составляющих компонент. Основное внимание уделено повышению функциональных и метрологических возможностей единого информационного обеспечения с использованием резольвера в качестве первичного измерительного преобразователя.

Ключевые слова: мехатроника, мехатронная система, рабочий механизм, единое информационное обеспечение, первичный измерительный преобразователь, резольвер.

The development of hightech industries has led to progress in microelectronics. This made possible to create «smart» devices which in most applications replaced human muscle strength and began to treat mechatronic systems (MS). These devices had aggregated electromechanics and microelectronics that on the basis of intelligence given to them by man, generated and received information affect the working mechanism. The aim of the work is to study the prevailing role of information support in the process of enhancing the effectiveness of MS which have the properties of intellectualization, adaptation, selforganization, optimization and synergistic effect achieved by aggregation and increasing electronization of the constituent components. The focus is on improving the functional and metrological capabilities of a common date ware using, as the sensor, resolver.

Key words: mechatronics, mechatronic system, working mechanism, common date ware, sensor, resolver.

Динамические характеристики многозонного регулятора с частотно-широотно-импульсной модуляцией при гармонической модуляции порогов переключения релейного элемента

БРЫЛИНА О.Г., САПРУНОВА Н.М.

Приведены результаты анализа динамических характеристик многозонного интегрирующего частотно-широотно-импульсного регулятора (МР) при воздействии гармонического сигнала помех и в широком частотном диапазоне на пороговые уровни ведущего релейного элемента. Приведена структурная схема МР, временные диаграммы его сигналов, амплитудная и модуляционная характеристики, а также расчетные соотношения для их построения. Поведение МР при гармонической модуляции порогов переключения релейного элемента оценено по характеру поведения коэффициента передачи МР и отклонению интервала дискретизации его выходных импульсов от заданного значения, определяемого сигналом управления. Результаты анализа представлены в виде пространства динамического состояния МР и логарифмических амплитудно-частотных характеристик в исследуемом диапазоне частот гармонического сигнала помехи.

Ключевые слова: частотно-широотно-импульсная модуляция, многозонный регулятор, интегратор, релейный элемент, коэффициент передачи, пространство динамического состояния.

The results of the analysis of dynamic characteristics of multizone integrating frequency width pulse regulator (MR) under the influence of harmonic interference signal over a wide frequency range for thresholds of leading relay element are considered in this article. The block diagram of MR, time diagrams of its signals, amplitude and modulation characteristics and basic relations for their construction are given. The analysis of the MR behavior with harmonic modulation of switching thresholds of relay element is carried by the character of the behavior of the MR transmission coefficient and the deviation of the sampling interval of the its output pulses from the value by predetermined of the control signal. The results of the analysis are presented in the form of the dynamic state space of the MR and logarithmic amplitude-frequency characteristics in the investigated frequency range of harmonic signal interference.

Key words: frequency-width pulse modulation, multizone regulator, integrator, relay element, transmission coefficient, dynamic state space.

Синтез электроприводов, реализующих предельные режимы работы по быстродействию и перегрузочной способности

ГРИГОРЬЕВ М.А.

Выделен отдельный класс электроприводов производственных механизмов, имеющий расширенные диапазоны изменения моментов нагрузки, скоростей, с тяжелыми и особо тяжелыми условиями эксплуатации. Показано, что расширение этих показателей без увеличения номинальной мощности электропривода дает существенное улучшение качества технологических режимов без завышения затрат на электропривод.

Сформулирована концепция синтеза (проектирования) электротехнических комплексов, в которых обеспечиваются предельные по возможностям характеристики, содержащая ряд этапов: синтез обобщенных математических моделей объекта; оценка предельных возможностей объекта управления; параметрическая оптимизация электротехнического комплекса с позиции обеспечения предельных характеристик; выбор упрощенных математических моделей электропривода; синтез структур и системы управления; поиск фазовых траекторий движения системы «Электропривод – рабочий орган», реализующих экстремальные режимы работы. Дана оценка возможностей каждого из этапов.

Ключевые слова: электроприводы с предельным быстродействием, параметрическая оптимизация, предельные перегрузки по моменту.

Special class of the machinery electric drive, which have increased variation range of the load torque and speeds, with heavy duty and extremely operation conditions is marked. It is shown that the expansion of these parameters without increasing the rated power of the electric drive provides a significant improved quality of technological modes without increasing the costs for the electric drive. The strategy of synthesis (designing) is formulated for the electrotechnical structure, in which characteristics are provided of limit frontier, and consists of series part: synthesis for generic mathematical model; estimate of the frontier control objects; parameter optimization of the electrotechnical structure with position of provide limits characteristics; choose simplified electric drive mathematical model; synthesis of structure and control system; search the phase path of motion of the system «Electric drive – work tool», which realized extreme operates. It is give estimate of possibility for the each several part.

Key words: electric drive with the limit operation speed, parameter optimization, limit overload of torque.

Параметрическая оптимизация синхронного электропривода с улучшенными массогабаритными показателями

ГОРОЖАНКИН А.Н., ГРИГОРЬЕВ М.А., ЖУРАВЛЕВ А.М., СЫЧЕВ Д.А.

Предложен вариант нового синхронного электропривода с активным ротором и сосредоточенными обмотками на статоре с числом фаз, отличным от трех, и несинусоидальными законами управления фазными токами. Такой электропривод характеризуется улучшенными массогабаритными показателями, которые достигаются благодаря учету совместной работы электрического преобразователя и двигателя. По критерию максимума отношения усилия объему электрической машины выполнена параметрическая оптимизация элементов двигателя: спинки статора и ротора, пазов для размещения обмоток. Приведены рекомендации по выбору числа фаз и схем силовых цепей электрического преобразователя для питания электрической машины. Показано, что путем рационального выбора геометрических параметров паза электромеханического

преобразователя удастся улучшить массогабаритные показатели примерно на 30% по сравнению с традиционными решениями.

Ключевые слова: синхронный электропривод, параметрическая оптимизация, конечно-элементный анализ.

A possible new synchronous drive with active concentrated winding rotor and the stator, the number of phases other than three, control laws and nonsinusoidal phase currents. This drive is characterized by improved weight and size, which is achieved by taking into account cooperation of the electric motor and the inverter. According to the criterion of maximum effort to volume ratio of the electric machine made a parametric geometry engine optimization elements: backs stator and rotor slots to accommodate the windings. Give advice on the choice of the number of phases and power circuits of electric circuits for power converter electric machine. It is shown that by a optimization slots geometrical parameters of the electromechanical motor can improve the weight and overall dimensions of about 30% compared to conventional solutions.

Key words: synchronous drive, parametric optimization, finite element analysis.

Основные положения теории и практики электроприводов с синхронными реактивными двигателями независимого возбуждения

УСЫНИН Ю.С., ГРИГОРЬЕВ М.А., ШИШКОВ А.Н.

Рассмотрены особенности электроприводов с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения (СРМНВ), придающие электроприводу высокие энергетические и регулировочные характеристики: возможность отдельного и независимого управления полями возбуждения и якоря, многофазность, отказ от трехфазных схем силовых цепей, необязательность синусоидальной формы токов. Показано, что независимое управление полями возбуждения и якоря расширяет диапазон возможностей при решении задачи многокритериальной оптимизации электропривода с СРМНВ. Расчеты показали, что в электроприводе с идеальным преобразователем за счет перераспределения активных материалов в электрических машинах малой мощности можно улучшить удельные показатели на 30–40%, в электродвигателях средней и большой мощности этот эффект скромнее и не превышает 10%. Обращается внимание на то, что в электроприводе с СРМНВ нет ограничений по условиям коммутации, что позволяет увеличить магнитный поток при перегрузках, а следовательно, увеличить кратковременно электромагнитный момент в 4–8 раз более номинального значения.

Ключевые слова: электропривод с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения; синхронный реактивный двигатель; многофазные цепи статора; обмотка статора с полным шагом.

Is shown features of the electric drive based on the field regulated reluctance machine that give for the electric drive high energetic and regulated characteristics: is possible separate and independent control of the excitation field and armature field, multiphase, refusal of scheme of the three-phase power circuits, not necessary current sine wave form. It is shown that the independent of the excitation and armature fields expands the range of possibilities for solving the problem of multicriteria optimization of the electric drive with Filed regulated reluctance machine (FRRM). It is shown that in the drive with an ideal inverter due to redistribution of the active materials in electrical machines of small power can be improved by specific indicators 30–40%, in electric drive medium and high power, this effect is does not exceed 10%. Attention

is paid to the fact that the drive with FRRM have no brush, thus increasing the magnetic flux in case of overload, and thus increase the electromagnetic torque of 4–8 times more than the rated value.

Key words: electric drive based on the field regulated reluctance machine; synchronous reluctance machine; multiphase of stator circuits; stator winding with full step.

Бестактовый аналого-цифровой преобразователь с поразрядным уравниванием ДУДКИН М.М., ЦЫТОВИЧ Л.И., ЛОХОВ С.П.

Рассматриваются структура и основные характеристики бестактового аналого-цифрового преобразователя (АЦП) с поразрядным уравниванием, сочетающего в себе признаки как параллельного АЦП, так и АЦП с поразрядным уравниванием и занимающего по быстродействию промежуточное положение между упомянутыми классами АЦП. Преобразователь представляет собой асинхронную релейно-импульсную систему, в которой преобразование аналогового сигнала в цифровой код осуществляется естественным образом («самотеком»), а скорость преобразования определяется только задержками элементов, входящих в его состав. Приведены основные расчетные соотношения, поясняющие принцип действия бестактового АЦП. Представлены результаты моделирования АЦП в среде MatLab+Simulink и его динамические характеристики.

Ключевые слова: аналого-цифровой преобразователь, поразрядное уравнивание, релейный элемент, цифро-аналоговый преобразователь.

The structure and general properties of tactless analog-digital converter (ADC) with bit-by-bit equilibration combining in itself characters both parallel ADC and ADC with bit-by-bit equilibration and occupying on operation speed an intermediate position between mentioned classes of ADCs is considered. The converter represents an asynchronous relay pulse system, in which the conversion of analog signal into numerical code is carried out normally («self flowing»), and the conversion speed is defined only by delays of units which are included in its structure. The basic calculated relations illustrating a principle of operation the tactless ADC are reduced. The results of simulation an ADC in the programming environment MatLab+Simulink and its dynamic performances are represented.

Key words: analog-digital converter, bit-by-bit equilibration, element relay, digital-analog converter.

Повышение энергоэффективности электроприводов станов периодической прокатки труб

УСЫНИН Ю.С., ШИШКОВ А.Н., СЫЧЕВ Д.А., САВОСТЕЕНКО Н.В., ХАЯТОВ Е.С.

Рассмотрены составляющие потерь электроэнергии в электроприводах станов периодической прокатки труб, имеющих крайне неравномерный график нагрузки. Проведена оценка ресурсов энергосбережения в электроприводе для станов периодической прокатки труб благодаря совершенствованию элементов электропривода, способов и систем управления. Обоснована высокая эффективность пропорционального управления токами якоря и возбуждения в зоне малых нагрузок. Проанализированы возможности как традиционных систем подчиненного регулирования, так и принципиально новых систем электропривода переменного тока. Объяснена природа выгод, связанных с применением электропривода с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения – полное использование витков обмотки якоря при создании

электромагнитного момента и отсутствие ряда узлов, обтекаемых большими токами (компенсационной обмотки, добавочных полюсов, обмотки возбуждения).

Ключевые слова: станы периодической прокатки, повышение энергоэффективности, синхронная реактивная машина независимого возбуждения.

Power losses components in electric drives of periodic tube rolling mills, which has irregular load diagram, are considered. Resource estimate of energy efficiency in electric drives of periodic tube rolling mills by progress of electric drive elements, methods and control systems are presented. High efficiency of proportional control by armature and excitation currents in the low loads area is substantiated. Capabilities of traditional systems subordinate regulation and fundamentally new systems of alternating current are analyzed. The nature of the benefits, which are related to the field regulated reluctance machine electric drive, is explained: full use of the armature windings to create electromagnetic torque, the absence of nodes with large current (compensating field, auxiliary poles, excitation winding).

Key words: periodic rolling mills, energy efficiency improvement, field regulated reluctance machine.

Компенсация радиальных усилий в электроприводах с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения

БЕЛОУСОВ Е.В., ШИШКОВ А.Н., ГОРОЖАНКИН А.Н., БЫЧКОВ А.Е.

Рассмотрены способы снижения радиальных нагрузок на подшипники электрических машин тягового электропривода. Предложена идея компенсации радиальных нагрузок, разработана математическая модель электропривода с управляемыми радиальными усилиями в вертикальном направлении на базе синхронной реактивной машины независимого возбуждения. Модель учитывает влияние вертикальных усилий, создаваемых различными обмотками машины, на износ механической части электродвигателя. Для адекватной оценки воздействия радиального усилия применялась дополнительная обмотка. Методами математического моделирования построена зависимость вертикального усилия от токов, протекающих в обмотках электрической машины. При изменении тока в обмотке возбуждения это усилие наименьшее, а при изменении тока в якорной цепи – наибольшее, поэтому для компенсации радиальных усилий необходимо формировать управляющие воздействия на якорную обмотку.

Ключевые слова: синхронная реактивная машина независимого возбуждения, радиальные усилия, износ подшипников.

In the article after the literature review provided one of the practicable method to compensate radial force on the bearings units by the control system of the electric motor. The operation of mathematical model is described. It includes effect of the vertical force on the run out of mechanical part electric drive that created by different windings of machine. For adequate valuation the effects of radial force applied additional winding. Acting on the machine maximum vertical force were calculated by the received waveforms. This fact allowed identify the future direction of research. By the mathematical model methods was building dependence of the vertical force by the current, which flowing in the windings of the electrical machine. The minimum force created when changed field current and maximum force created when varying the armature circuit current. This point to the fact that armature winding provides maximum compensation effect of the radial force.

Key words: field regulated reluctance machine, radial force, bearing wear.

Косвенное определение составляющих перемещения в электроприводе

ФУНК Т.А., САПРУНОВА Н.М., БЕЛОУСОВ Е.В., ЖУРАВЛЕВ А.М.

Высокое качество ведения технологических процессов требует применения замкнутых систем регулирования по отклонению и формирования соответствующего информационного обеспечения процесса управления. В статье рассмотрены два подхода к получению информации о составляющих перемещения: непосредственное измерение скорости и/или положения с помощью датчика на валу двигателя и косвенное определение вектора состояния объекта по доступным для прямого измерения переменным (ток, напряжение) и параметрам (активное сопротивление) без установки датчика на вал. Показаны основные недостатки применения оптических энкодеров. Дан обзор, классификация, сравнительный анализ и сферы применения косвенных методов определения составляющих перемещения: вычисление по модели двигателя с измерением токов и напряжений статора и вычисление по статической функциональной зависимости.

Ключевые слова: информационное обеспечение электропривода, первичный измерительный преобразователь, угловые перемещения, энкодер, синусно-косинусный датчик угла, косвенные (бессенсорные) методы определения составляющих перемещения.

The high quality of technological processes requires the use of deviation closed loop control systems and the formation of an appropriate information support of control process. The article discusses two approaches to obtain information about the displacement components: the direct measurement of the velocity and/or position with the help of sensor on the motor shaft and the indirect determination of the object state vector using available for direct measurement variables without the shaft sensor (current, voltage). The main disadvantages of optical encoders are identified. An overview, a classification, a comparative analysis and the application scopes of indirect methods of determining the displacement components are given (calculation for the electrical machine model with the measurement of current and voltage of the stator and the calculation of static functional dependence).

Key words: information support of electric drive, primary transducer, angular movement, encoder, indirect (sensorless) methods for determining the components of displacement.

Статические характеристики синхронного электропривода с постоянными магнитами

ШМАРИН Я.А., КОДКИН В.Л., АНИКИН А.С.

Приведены результаты экспериментальных исследований электропривода на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) и преобразователя частоты (ПЧ). В процессе экспериментов изменяется параметр ПЧ, который влияет на напряжение статора СДПМ. Экспериментальное исследование заключалось в изменении напряжения на статоре для различных фиксированных частот и нагрузок, а также при различных законах управления, при этом регистрировалось изменение тока статора. Показано, что зависимость тока статора от напряжения носит экстремальный характер, который сохраняется для различных заданий частоты и нагрузочных моментов, причем система управления не учитывает изменения оптимального значения напряжения, что указывает на возможность корректировки системы управления, способствующей минимизации токов при неизменной выходной мощности.

Ключевые слова: синхронный двигатель с постоянными магнитами, система управления электроприводами, электропривод переменного тока, оптимизация системы управления синхронным двигателем с постоянными магнитами.

Results of electric drive based on permanent magnet synchronous machine (PMSM) and frequency converter (FC) experimental investigation are presented. During the investigation a FC parameter, which influences on SDPM stator voltage was changing. The study consisted of voltage variation for different fixed frequency and load references, and with both scalar and vector control methods. Stator current was observed during the experiment. It is shown, that relation between current and voltage has extremal form, which was kept for wide range of frequency reference and load reference variations. The existing control system doesn't consider optimal voltage value variation. This fact points to the control system correction capability, which will allow minimizing stator current for constant power.

Key words: permanent magnet synchronous machine, electric drive control system, alternative current electric drive, permanent magnet synchronous machine control system optimization.

Адаптивные интегрирующие устройства для управления силовыми вентильными преобразователями

ДУДКИН М.М., ЦЫТОВИЧ Л.И.

Рассмотрены адаптивные интегрирующие устройства синхронизации, фазосдвигающие устройства и аналого-цифровые преобразователи, отличающиеся высокой устойчивостью внешним помехам, точностью и способностью адаптироваться к изменяющимся параметрам напряжения сети. Показано, что интегрирующее развертывающее преобразование, положенное в основу построения систем управления силовыми вентильными преобразователями, обеспечивает высокий уровень помехоустойчивости и адаптации ВП к нестабильным параметрам напряжения сети в стационарных и автономных системах электроснабжения, значительно превосходя при этом аналогичные показатели серийно выпускаемых силовых преобразователей отечественного и зарубежного производства системами управления, построенными по принципу выборки мгновенных значений информативной координаты.

Ключевые слова: интегрирующий развертывающий преобразователь, система управления, силовой вентильный преобразователь, помехоустойчивость.

Adaptive integrating lockers, phase shifting devices and analog-digital converters, which are distinguished by a high interference immunity to the external interference signals, accuracy and ability to adapt to the changing parameters of mains voltage are considered. It has been shown that integrating scanning conversion in the base of construction of control systems of power valve converters contributes to a high level of interference immunity and adaptation of VC to the unstable parameters of mains voltage in the stationary and autonomic based power supply systems, outgoing with this considerably the analogous indicators of the commercial power converters of homemade and imported production with the control systems constructed on the principle of momentary values c sampling of information coordinate.

Key words: integrating scanning converter, control system, power valve converter, interference immunity.

Повышение надежности работы электроприводов эксгаустеров кислородно-конвертерного процесса

ГРИГОРЬЕВ М.А., СЫЧЕВ Д.А., ЖУРАВЛЕВ А.М., ХАЯТОВ Е.С., САВОСТЕЕНКО Н.В.
Рассматриваются пути повышения надежности электроприводов эксгаустеров кислородно-конверторного производства. Получены зависимости надежности показателей комплекса «полупроводниковый преобразователь–двигатель» от запаса мощности. В качестве критерия сопоставления решений приняты затраты на установленное электрооборудование. Обращается внимание, что повышение надежности электропривода возможно не только путем увеличения габаритной мощности силовой части, но и изменения количества фаз. Показано, что в синхронном реактивном электроприводе с импульсно-векторным управлением при резервировании полупроводникового преобразователя удастся улучшить надежность показатели системы. Предложена математическая модель комплекса «силовой полупроводниковый преобразователь – синхронный реактивный двигатель независимого возбуждения». Рассмотрены результаты математического моделирования синхронного реактивного электропривода с импульсно-векторным управлением: установлена зависимость удельных показателей электропривода от количества фаз.
Ключевые слова: конвертерное производство, эксгауستر, синхронная реактивная машина независимого возбуждения надежность.

Article deals with increasing reliability of electric drive gas exhauster of oxygen-converter process. The dependence parameters of reliability in system «electrical converters – electric motor» of power are received. Criterion for optimization was made costs. The attention is paid to improving reliability of electric drive is possible by increasing the number of phases. It is shown, that in synchronous electric drive with pulse-vector control to reserve a semiconductor converter can improve the reliability of system. A system «electrical converters - Reluctance motor with field regulated machine» mathematical model is received. The results of mathematical modeling of synchronous electric drive with pulse-vector control are represented. Dependence of specific electric parameters of the number of phases was defined.
Key words:; oxygen-converter process, gas exhauster, field regulated reluctance machine, reliability.

Тяговый электропривод электромобиля

ГРИГОРЬЕВ М.А., НАУМОВИЧ Н.И., БЕЛОУСОВ Е.В.
Регулируемый электропривод, имеющий значительную кратность поддерживаемого момента (5:1 и выше) в режиме ограничения мощности, целесообразно применять в электроприводах электромобилей внедорожников. Такие перегрузки могут быть обеспечены, например, в электроприводах с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения не только за счет возможностей электрической машины, но и за счет выбора структуры управления электроприводом. Выполнен анализ требований к электроприводу электромобиля, рассмотрен характер влияния способа управления на удельные показатели, а также анализ количества независимых управляющих воздействий в синхронных реактивных электроприводах. Показана возможность увеличения кратности перегрузки по моменту за счет отказа от векторных законов управления в пользу структур аналогичных системам электроприводов постоянного тока.
Ключевые слова: тяговый электропривод, синхронная реактивная машина независимого возбуждения, независимые управляющие воздействия.

Controlled electric drive is used advisable in electric drives of electric vehicles off roadsters, because it have a considerable multiplicity of supported torque (5:1 or higher) in a power

restraint mode. Such overload can be achieved, for example, in electric drives with field regulated reluctance machine is not only by the abilities of the electric machines, but also due to the choice of the drive control system. An analysis of requirements to the electric drive of an electric vehicle is provides in this article, the influence of the control method is consider on specific and overload indicators. The analysis is provided of the number of independent control actions in synchronous reluctance electric drives. Attention directed to the possibility of increasing the multiplicity overload of the torque due to the abandon of vector control laws in favor of similar structure to the systems of DC drives.

Key words: traction electric drive, field regulated reluctance machine, independent control actions.

Авторы опубликованных статей

Список статей, опубликованных в журнале «Электротехника» в 2015 г.