

Стенд электродвижения на основе схемы «асинхронизированный генератор – синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов»

ЖУРАВЛЕВ С.А., ЗАЙЦЕВ А.М., ЗАХАРОВ А.В.

Рассмотрены основные научно-технические результаты, полученные при проектировании стенда электродвижения, который предназначен для проведения исследований и построен по схеме «асинхронизированный синхронный генератор - синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов». На основе анализа основных энергетических и массогабаритных показателей обоснована перспективность использования синхронных машин с возбуждением от постоянных магнитов в качестве высокомоментных исполнительных устройств. Разработана схема управления питанием первичной обмотки асинхронизированного синхронного генератора. Показано, что система управления возбудителем асинхронизированного генератора может быть реализована на основе классической структуры векторного управления частотой вращения вентильного двигателя, отличающейся от известной структуры суммированием электрических угловых координат исполнительной машины и вращающегося генератора.

Ключевые слова: асинхронизированный генератор, синхронные электродвигатели с возбуждением от постоянных магнитов.

This article describes the basic scientific and technical results obtained during design of the experimental stand of electric transmission built under the scheme asynchronized synchronous generator – permanent magnet motor. On the basis of mass, energy and overall dimension indicators analysis there is shown that a permanent magnet motor could be used as high-torque actuator. The scheme of power control primary winding of an asynchronized synchronous generator for working with permanent magnet motor is developed. There is shown that the control system of exciter of asynchronized synchronous generator could be build on the basis of the vector control structure of rotor speed, but unlike a known vector control structure the new one has an element that sums up electric angle coordinates of actuating electric machine and asynchronized synchronous generator.

Key words: asynchronized synchronous generator, synchronous motors with excitation from permanent magnets

Аналогии и особенности компенсированных асинхронных машин при различном числе их фаз

МИШИН В.И., ЛУТ Н.Т., МАКАРЕВИЧ С.С., ЧУЕНКО Р.Н.

Проанализированы недостатки широко распространенных на практике трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Установлено, что наиболее существенным недостатком является потребление из сети двух видов электрической энергии: активной для преобразования ее в механическую, сопровождаемого неизбежными тепловыми потерями, и реактивной, которая не преобразуется в другие виды, но идет на создание магнитного поля, необходимого для электромеханического преобразования энергии в электрической машине. Предложено для улучшения технико-экономических показателей асинхронных машин, как двигателей, так и генераторов использовать внутреннюю емкостную компенсацию реактивной мощности. При этом каждая фазная обмотка статора асинхронной машины разделяется на две равные по числу витков части, пространственно смещенные между собой в пазах сердечника на угол 30° . Эти части включены по схеме поворотного автотрансформатора на электрическую емкость на его выходе. Изменение пространственного положения обмоток статора приводит к изменению во времени действия фазных углов их ЭДС и, следовательно, токов и напряжений без изменения вносимых реактивных сопротивлений. Таким образом пространственная координата электрической величины преобразовывается во временную координату в электромагнитной цепи с вращающимся магнитным полем. Сочетание этого свойства обмоток статора по схеме поворотного автотрансформатора с действием электрической емкости на его выходе создает эффект внутренней емкостной компенсации реактивной мощности в асинхронной машине. Рассмотрена возможность использования внутренней емкостной компенсации реактивной мощности в однофазных асинхронных машинах. Предложена методика расчёта характеристик компенсированных асинхронных машин с учетом изменения сопротивления контура намагничивания. Определены преимущества компенсированных асинхронных двигателей и компенсированных асинхронных генераторов. Даны рекомендации относительно их рационального использования на практике.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, автономный электромеханический комплекс, внутренняя емкостная компенсация, асинхронный генератор

The disadvantages of three-phase asynchronous motors with squirrel cage rotor were analyzed. The most significant disadvantage is the consumption of electrical energy of the two types of networks. The active electrical energy is active to convert it to mechanical with heat loss, and the reactive to create a magnetic field in process of electromechanical energy conversion in the electrical machine. The internal capacitive compensation of reactive power was proposed. The combination of the properties of stator windings according to the scheme of rotary

autotransformer with the operation of electric capacitance at the output it creates the effect of internal capacitive reactive power compensation of the asynchronous machine. The possibility of using internal capacitive reactive power compensation in single-phase induction machines was considered. The method of calculating the characteristics of compensated induction machines for the changes in the magnetization loop resistance was proposed. The advantages of compensated asynchronous motors and generators were defined. Recommendations for management in practice were found.

Key words: induction motor, autonomous electromechanical complex, internal capacitance compensation, asynchronous generator

Токовая диагностика неисправностей подшипников асинхронных двигателей на основе быстрого преобразования Фурье

САФИН Н.Р., ПРАХТ В.А., ДМИТРИЕВСКИЙ В.А., ДМИТРИЕВСКИЙ А.А.

Мониторинг технического состояния подшипников асинхронных двигателей является одним из важных показателей надёжной и эффективной работы промышленных электроприводов. В статье рассматриваются вопросы диагностирования повреждений подшипников асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором по потребляемому току статора.

Приведены результаты испытаний на экспериментальном стенде с электромагнитным порошковым тормозом и их анализ. Эксперименты проводились при испытаниях асинхронного двигателя в номинальном режиме, с подшипниками: исправным и поочередно с двумя неисправными, имеющих дефекты во внутренней и внешней частях обойм.

Представлены характерные гармонические составляющие токов статора, проявляющихся при работе асинхронного двигателя с неисправными подшипниками. Показано, что упреждающая диагностика асинхронных двигателей по току статора позволяет заблаговременно выявить эксцентриситет воздушного зазора, обусловленного работой электродвигателя с поврежденным подшипником. Контроль технического состояния подшипников является важным как на этапе изготовления машин, особенно для мощных и ответственных механизмов, так и при их эксплуатации. Выявлены основные особенности мониторинга подшипников и приведены рекомендации по токовой диагностике.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, подшипник, диагностика повреждений подшипников, характерные частоты, спектральный анализ, быстрое преобразование Фурье.

Constant monitoring of induction motor bearings is one of the important measures of reliable and efficient operation to the industrial electrical drives. The article deals with a diagnosis of bearing

faults induction motors. Performed results of tests which were performed on testing equipment with electromagnetic powder brake and their analysis are presented. The experimental works were provided during the test of induction motor at rated nominal mode, with bearings: healthy and alternately with two faults, which had defects inner and outer parts of cages. The characteristic harmonic components of stator currents, which evolve during testing of induction motor with faulty bearings are presented. Preventive diagnosis of induction motors by stator current allows early detection the air gap eccentricity due to the operation of the motor with a damaged bearing. Control of bearing's technical condition is important, both during at the stage of manufacturing machines, in particularly for powerful and responsible mechanisms, and during their exploitation. The basic features of monitoring of bearings and recommendations for the diagnosis by stator currents analysis are presented.

Key words: induction motor, bearing, diagnosis of bearing faults, characteristics frequencies, spectral analysis, Fast Fourier transform.

Высшие гармоники электромагнитных моментов магнитоэлектрического редуктора **АФАНАСЬЕВ А.А.**

В правильно спроектированном магнитном редукторе электромагнитные моменты имеют зависимость от углов нагрузки, близкую к синусоиде. При неоптимальной геометрии активных зон электромагнитные моменты будут содержать высокочастотные осцилляции, обусловленные реактивными моментами, вызывающими дискретную фиксацию («залипание») неподвижных роторов. В неблагоприятных случаях амплитуда этих пульсаций может быть соизмерима с максимальным (опрокидывающим) значением электромагнитного момента. Расчёт электромагнитных моментов магнитоэлектрического редуктора (МЭР) производится энергетическим методом, на основе разложения удельной магнитной проводимости воздушных зазоров и МДС магнитов в тригонометрические ряды. Для этого находятся интегральные выражения для энергий магнитного поля (МП) в воздушных зазорах, зависящих от угловых положений роторов относительно неподвижных полюсов магнитов статора. Для произвольно выбранных гармоник магнитной проводимости воздушных зазоров и МДС магнитов определяются условия для порядков указанных гармоник и значений чисел зубцов и полюсов, при которых интегралы для энергии МП будут отличны от нуля. Такой подход позволил получить формулы для основных электромагнитных моментов и сопутствующих паразитных моментов. Невыполнение найденных условий приводит к устранению паразитных гармоник электромагнитных моментов. Радикальным средством ликвидации высших гармоник электромагнитных моментов является выбор числа стержней модулятора равным простому числу. При

невозможности выбора указанного числа стержней следует выбирать такие значения числа пар полюсов статора, при которых присутствие высших гармоник электромагнитных моментов возможно при наибольших значениях порядков гармоник магнитной проводимости воздушных зазоров и МДС магнитов статора и ротора.

Ключевые слова: магнитоэлектрический редуктор, электромагнитный момент, высшие гармоники

In it is correct designed magnetic gear electromagnetic moments have a dependency from u_{гол} of the load, close to sinusoidal. In suboptimal geometries of the active zones electromagnetic moments will contain the radio-frequency fluctuations, conditioned reactive moment, causing discrete fixing still rotor. In disadvantage events amplitude these pulsation can be commensurable with maximum (overturning) by importance of the electromagnetic moment. The Calculation of the electromagnetic moments magneto gear (MG) is produced by energy method, on base of the decomposition to specific magnetic conductivity air clearance and MDS magnet in trigonometric rows. Integral expressions are found For this for energy of the magnetic field (MP) in air clearance, hanging from angular positions rotor comparatively still pole magnet stator. For arbitrarily chosen harmonicas to magnetic conductivity air clearance and MDS magnet are defined condition for order of the specified harmonicas and importance of the number tine and pole, under which integrals for energy MP will be different from zero. Such approach has allowed to get the formulas for the main electromagnetic moments and accompanying stray moments. Non-execution of the founded conditions brings the stray harmonicas of the electromagnetic moments about eliminating.

The Drastic remedies to liquidations of the high harmonicas of the electromagnetic moments is a choice of the number rods modulator equal equal to a Prime number. At impossibility of the choice of the specified number rods you should choose such values of the number of pairs of poles of the stator, under which presence of the high harmonicas of the electromagnetic moments possible under the most importance order harmonicas to magnetic conductivity air clearance and MDS magnet stator and rotor.

Key words: magnetoreducer, electromagnetic torque, higher harmonics

Структуры построения высоковольтных систем электропитания космических аппаратов на основе инверторно-трансформаторных преобразователей

ОСИПОВ А.В., ШИНЯКОВ Ю.А., ШКОЛЬНЫЙ В.Т., СУНЦОВ С.В., ЧЕРНАЯ М.М.

Статья посвящена анализу энергетической эффективности высоковольтных систем электропитания космических аппаратов, имеющих в качестве первичного бортового

источника солнечную батарею с нелинейными внешними характеристиками. Отмечено, что энергетическое использование солнечной батареи во многом определяется преобразователем, согласовывающим напряжение нагрузки с диапазоном дрейфа напряжения батареи. В связи с этим рассмотрена возможность применения в системе электропитания инверторно-трансформаторных преобразователей, которые позволяют произвольно согласовать уровни напряжения солнечной батареи и нагрузки с помощью трансформатора и таким образом обеспечивают полное энергетическое использование солнечной батареи при любом номинале выходного напряжения. Выполнено сопоставление преобразователей на основе инвертора напряжения и инвертора тока, показано, что применение последних более энергетически эффективно, так как позволяет реализовывать регулирование напряжения солнечной батареи в требуемом диапазоне без завышения габаритной мощности силовых элементов. Полученные результаты подтверждены экспериментальными испытаниями с использованием имитатора солнечных батарей ИБС-200/7-4.

Ключевые слова: космический аппарат, солнечная батарея, система электропитания, энергетическая эффективность, инверторно-трансформаторный преобразователь

The article describes the research of energy efficiency of the high voltage power systems of spacecrafts that include solar battery with nonlinear characteristics as a primary onboard source. It was noted that the energy use of solar batteries is determined by the converter that coordinate voltage levels of the load with the range of solar battery voltage drift. The possibility of using systems of spacecrafts based on structures with high frequency link witch permit to coordinate randomly voltage levels of solar batteries and the load by the use of matching transformer and provide full power use of the solar battery at any value of output voltage is considered. Comparison of the current inverter and voltage inverter was produced. It is shown that the application of the current inverter is the most energy efficient as it allows to implement the regulation of the solar battery voltage in the required range without power-to-size ratio overstating of load-bearing element..Experimental tests using the solar simulator IBS 200 /7-4 as the primary energy source confirmed the results obtained.

Key words: spacecraft, solar battery, power system, energy efficiency, inverter-transformer converter

Особенности режимов работы многозонного интегрирующего регулятора с четным числом релейных элементов

ЦЫТОВИЧ Л.И., БРЫЛИНА О.Г.

Рассмотрены режимы работы многозонного интегрирующего регулятора с частотно-широотно-импульсной модуляцией при четном числе релейных звеньев, входящих в его состав. Многозонные интегрирующие регуляторы характеризуются высокой помехоустойчивостью, точностью, многофункциональностью и простотой технической реализации. Благодаря таким свойствам они позволяют эффективно решать целый комплекс технических задач по повышению ресурсо- и энергосберегающих показателей систем управления технологическими процессами, выполненных на их основе. Приведена структурная схема многозонного регулятора с четным числом релейных элементов. Для пояснения принципа его работы показаны временные диаграммы сигналов многозонного регулятора при двух и четырех релейных элементах, входящих в его состав. На основе проведенного анализа даны рекомендации по применению многозонного регулятора в качестве слабых информационных устройств (регуляторов, датчиков и т.п.).

Определены области применения многозонного интегрирующего регулятора в системах управления электроприводами технологических установок. В частности, рассмотрен пример построения на основе многозонного регулятора системы дискретного управления группой электроприводов с параллельными каналами регулирования. Показана структурная схема дискретно регулируемой системы управления группой из нечетного числа асинхронных электроприводов водяных насосов, управляемых от тиристорных регуляторов для плавного пуска двигателей с заданным ограничением пускового тока. В предложенной структуре исключен главный недостаток многозонной системы с четным числом релейных элементов, в частности, реализована блокировка дополнительных переключений релейных элементов при переходе многозонного регулятора из одной модуляционной зоны в другую.

Ключевые слова: многозонный интегрирующий регулятор, интегратор, релейный элемент модуляционная зона, частотно-широотно-импульсная модуляция.

The paper offers operation modes of integrating multi-zone regulator with frequency-width-pulse modulation, which contains an different even number of relay elements. The integrating multi-zone regulator have high noise immunity, accuracy, multifunctionality and simple technical realization. Due to such properties they allow solving efficiently of the complex of technical problems to improve of resource and energy-efficient performance of process control systems, which are made on the basis of integrating multi-zone regulator. The block diagram of multi-zone regulator with an even number of relay elements is given. Time-diagrams of multi-zone regulator's signals with two and four relay elements are shown. The multi-zone regulator is recommended to use as a low-voltage information devices, in particular regulator, sensor and etc. Such a conclusion is based on the analysis. Application fields of integrating multi-zone regulator into the control system of electric

drives of technological installations is defined too. In particular, an example of the construction of discrete control system of a group of electric drives with parallel control channels on the basis of multi-zone regulator is discussed in the article. The block diagram of the discrete control system of a group from an odd number of asynchronous electric drives of water pumps is given. The water pumps are controlled by thyristor regulators. Such a solution provides a soft-start motors with a predetermined starting current limiter. The main disadvantage of multi-zone regulator with an even number of relay elements is eliminated in the suggested system. In particular, the blocking of additional switching of relay elements when switching multizone regulator from one modulation zone to another is realized.

Key words: integrating multi-zone regulator, integrator, relay element, modulation zone, frequency-width-pulse modulation.

Моделирование электромагнитных процессов в коллекторных электродвигателях с питанием от статических преобразователей

СЕРИКОВ А.В., СУЗДОРФ В.И.

Математическое описание динамических процессов в электроприводах с двигателями последовательного возбуждения связано с необходимостью учета переменных коэффициентов в дифференциальных уравнениях при описании электродвигателя, а также прерывистого характера тока при питании от статического преобразователя. Указанные особенности зачастую приводят к анализу таких систем как нестационарных. В статье решена задача описания движения нелинейной системы в пространстве управляемых параметров на примере коллекторного электродвигателя последовательного возбуждения с питанием от статического преобразователя в области прерывистого тока на основе спектрального метода Солодовникова. Предложен алгоритм анализа двигателя как объекта управления при детерминированных входных воздействиях и начальных условиях, выведены выражения для двумерных нестационарных передаточных функций и нестационарных спектральных характеристик выходных переменных. Получена матрица двумерной нестационарной передаточной функции системы. Алгоритм расчета матрицы построен таким образом, чтобы определять передаточные функции на фиксированном временном интервале, а затем продолжать расчет методом припасовывания. Передаточная функция преобразователя, как звена системы автоматического регулирования, введена в спектральном виде. Разработанный алгоритм реализован в среде MatLab. Полученные зависимости угла проводимости вентилей при различных значениях скорости вращения двигателя и его нагрузки на валу можно использовать в приближенных расчетах систем с двигателями последовательного возбуждения.

Ключевые слова: электромагнитные процессы, квазистационарные процессы, спектральная характеристика, передаточная функция.

Mathematical description of dynamic processes in electric drives with motors sequential excitation associated with the necessity of taking into account the presence of variable coefficients in the differential equations to describe the electric motor and the intermittent nature of current when powered by a static Converter. These features often lead to the need for consideration of systems such as non-stationary or quasi-stationary. The article addresses the problem of describing the motion of the nonlinear system in the space of controlled parameters on the example of the collector electromotor sequential excitation with power from the static Converter in the discontinuous current region based on the Solodovnikov spectral method. The algorithm analysis engine as a control object in deterministic inputs and initial conditions, expressions are derived for two-dimensional non-stationary transfer functions and non-stationary spectral characteristics of the output variables. The resulting matrix of two-dimensional non-stationary transfer function of the system. The algorithm for calculating the matrix cells constructed in such a way as to define transfer functions on a fixed time interval, then continue with the calculation process by the method of mathematical modelling. The transfer function of the Converter unit of the automatic control system is introduced in the spectral view. The developed algorithm is implemented in MatLab. The dependences of the angle of conduction of the valves at different values of engine speed and load on the shaft can be used in approximate calculations of systems with engine serial excitation.

Key words: electromagnetic processes, quasi-stationary processes, spectral response, transfer function.

Анализ энергетических характеристик работы электропривода переменного тока в переходных режимах

СИМАКОВ Г.М., ФИЛЮШОВ Ю.П.

Выполнен анализ энергетических свойств электропривода переменного тока. Предложенный метод позволяет в аналитическом виде сравнить энергетические показатели качества различных электроприводов при различных способах формирования электромагнитного момента в электрической машине. На основе связи силовых и энергетических характеристик в виде функций энергетического состояния даны оценки энергетической эффективности и интенсивности процессов преобразования энергии и оценки эффективности использования напряжения и мощности, подводимых к обмоткам двигателя. Посредством структурированных связей критериев качества разработанный метод позволяет на стадии проектирования оценить основные свойства электропривода в статических и динамических

режимах. Используя функции энергетического состояния, с помощью аргументов, зависящих от способа формирования электромагнитного момента, метод дает возможность оценить тепловое состояние при выборе или проверке электрической машины по условиям нагрева или перегрузке.

Ключевые слова: электропривод переменного тока, энергетические показатели, переходные режимы.

The paper presents an analysis of the energy properties of the AC drive. Unlike other methods, this method allows in analytical form to compare energy quality indicators of various electric drives at different ways of forming the electromagnetic torque in the electrical machine. By using relations of power and energy characteristics as functions of the energy state, the energy performance assessment, the intensity of the energy conversion processes and effectiveness of using of voltage and power applied to the motor windings were presented. Through structured relations of quality criteria, the developed method allows to evaluate at design stage the basic properties of the electric drive in static and dynamic modes. By using arguments, which based on electromagnetic torque forming approach, method allows you to evaluate thermal state in selecting or inspection electrical machine under the terms of heating or overload.

Key words: energy indices, integrated assessment of energy efficiency, AC electric drive, defined transients.

Применение принципа разделения модели гармонического возмущения в структурно-параметрическом синтезе селективно-инвариантных электромеханических систем ТАРАЫКИН С.В., ТИХОМИРОВА И.А., КОПЫЛОВА Л.Г.

Рассмотрена задача улучшения отработки гармонического возмущения момента нагрузки электродвигателя при одновременном снижении степени сложности регуляторов с учетом дополнительных критериев качества электромеханических систем: помехоустойчивости, чувствительности к вариациям параметров объекта и наличию запаздывания сигналов силового преобразователя. В качестве основного используется принцип селективной инвариантности, предполагающий включение модели возмущения в состав управляющего устройства электропривода. Отличительной особенностью работы является применение двухконтурных структур электромеханических систем с «быстрым» внутренним контуром управления и использование принципа разделения модели возмущения на интегральную и колебательную составляющие с переносом одной из них в состав «быстрой» подсистемы. Разработаны методики расчета параметров регуляторов и выполнены сравнительные

исследования синтезируемых электромеханических систем по комплексу основных и дополнительных критериев качества.

Ключевые слова: двухконтурная электромеханическая система, компенсация гармонических возмущений, разделение модели возмущения, синтез и структурная оптимизация регуляторов, селективная инвариантность.

The problem of response improvement of harmonic disturbance of electric drive load torque and the problem of simultaneous reduction of complexity degree of control devices are solved. The additional quality factors such as noise stability, sensibility to object parameters variations and sensibility to transport delay of signals in power converter of electromechanical systems are taken into account. Selective invariance principle, which assumes that disturbance model is included into electric drive control device, is used as the main principle. The paper has some distinctive features. The first one is the application of dual circuit structures of electromechanical systems with “rapid” internal control loop. The second one is the application of separation principle of disturbance model into integral and oscillatory components. The third feature is transfer of one of the disturbance model components into “rapid” subsystem. Methods of calculation of control devices parameters are developed. Comparative researches of synthesized electromechanical systems by using the complex of the main and the additional quality factors are implemented.

Key words: dual circuit electromechanical system, harmonic disturbance compensation, internal model separation, synthesis and structural optimization of control devices, selective invariance.

Моделирование электромеханических характеристик трехфазного электродвигателя с преобразователем, выполненным по схеме однофазная сеть – трехфазная сеть
СТАЛЬНАЯ М.И., ЕРЁМОЧКИН С.Ю.

Представлена схема преобразователя частоты для трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя. Для проверки эффективности преобразователя выполнен сопоставительный анализ характеристик двигателя при питании непосредственно от трехфазной сети переменного тока и однофазной сети посредством преобразователя. Механические и рабочие характеристики трехфазного электродвигателя построены в графической среде имитационного моделирования MatlabSimulink. Приведены зависимости угловой скорости ротора и момента от времени, рабочие и механические характеристики двигателя при питании от трехфазной сети и посредством предложенного преобразователя. Установлено, что значения угловой частоты, тока, КПД и электромагнитного момента для обоих способов питания двигателя практически совпадают. В результате анализа

установлено, что электропривод с преобразователем по своим показателям сопоставим с трехфазным способом питания двигателя.

Ключевые слова: электродвигатель, частотный преобразователь, моделирование, MatlabSimulink, рабочие характеристики, механические характеристики

In article the original diagram of the frequency converter for the three-phase asynchronous short-circuited electric motor is provided. For check of the developed transformer efficiency, the comparative analysis of characteristics of the electric motor in case of supply from three-phase alternating current network and in case of supply from a single-phase network by means of the converter is provided. Creation of mechanical and operating characteristics of the three-phase electric motor is carried out in a graphic environment of simulation modeling Matlab Simulink. Dependences of angular speed of a rotor and the moment on time, operating and mechanical characteristics of the engine are shown in case of a supply from three-phase network and by means of the developed converter. It is set that values of angular frequency, current, efficiency and the electromagnetic moment for both supply methods of the electric motor practically match. As a result of the carried-out analysis it is set that the electric drive with the developed converter is comparable to a three-phase supply method of the electric motor.

Key words: electric motor, frequency converter, modeling, MatlabSimulink, performance data, mechanical characteristics.

Асинхронизированный вентильный двигатель и его модель

ГУЛЯЕВ И.В., ТУТАЕВ Г.М., ВОЛКОВ А.В.

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований асинхронизированного вентильного двигателя (АВД). Предложенный вариант вентильного двигателя выполнен на базе асинхронного двигателя с фазным ротором и напряжения с использованием в качестве силовых ключей IGBT модулей. Сигнал с датчика тока в микропроцессорной системе управления дополнительно сдвигает импульс управления на заданный постоянный угол. Данные модификации улучшают энергетические показатели и повышают коммутационную способность инвертора с помощью регулирования угла управления силовыми модулями. По представленным уравнениям была разработана модель АВД. Рациональным представляется получить передаточные функции статора и ротора АВД, определить управляемые переменные, управляющие и возмущающие воздействия. Предложенная реализация математической модели позволяет исследовать переходные процессы в электрической машине при пуске и разгоне, а также при изменении нагрузки на

валу.

Ключевые слова: асинхронизированный вентильный двигатель, IGBT модуль, инвертор напряжения.

The article describes the results of theoretical and experimental researches of asynchronous converter-fed motor (ACFM). The presented variant of converter-fed motor is based on asynchronous motor with wound rotor, based on the inverter using IGBT modules as power switches. The signal from the current sensor in the microprocessor control system further shifts the control pulse for a predetermined constant angle. These modifications improve the energy performance and increase the switching capacity of the inverter by means of adjusting the angle control of the power modules. On the basis of the equation model was developed ACFM's model. The analysis indicates that it is necessary to get the transfer function of the stator and rotor of the ACFM, to determine controlled variables, control and disturbing influences. The proposed implementation of the mathematical model allows to study the transient processes in the electric machine during starting and acceleration, as well as shaft loading.

Key words: asynchronous converter-fed motor, IGBT module, voltage inverter.

Защита высоковольтных конденсаторов мощных емкостных накопителей энергии от аварийных сверхтоков

БАРАНОВ М.И.

Предложен способ термомеханической защиты высоковольтных конденсаторов мощного емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) от аварийных сверхтоков, возникающих в зарядно-разрядных цепях ЕНЭ при электрическом пробое его конденсаторов на стадии их заряда или разряда. Способ предусматривает применение высоковольтных защитных резисторов, жестко устанавливаемых на выводах конденсаторов ЕНЭ. Установлено, что для ограничения аварийного сверхтока в качестве защитных резисторов в зарядно-разрядных цепях мощных ЕНЭ могут использоваться высоковольтные керамические объемные резисторы ТВО-60 номиналом от 24 до 100 Ом. Предложен метод рационального выбора числа резисторов. На натуральных образцах мощных ЕНЭ выполнена экспериментальная проверка предложенного способа защиты высоковольтных конденсаторов от аварийных сверхтоков и приведенных расчетных соотношений по выбору числа резисторов.

Ключевые слова: мощный емкостный накопитель энергии, высоковольтные конденсаторы, ограничение аварийного сверхтока; выбор числа защитных керамических резисторов.

The method of thermal-mechanical protection of high-voltage condensers of powerful capacity store of energy (CSE) is offered from emergency very large currents, arising up in the charge-bit chains of CSE at the electric hasp of his condensers on the stage of their charge or discharge. This method of protection is foreseen by application of high-voltage protective resistors, hardly set on conclusions condensers of CSE. It is set that at limitation of emergency very large currents as protective resistors in the charge-bit chains of powerful CSE the high-voltage ceramic by volume permanent resistors of type of TVO-60 can be utilized by a face value from 24 to 100 Ohm. Engineering-technical approach is offered on the rational choice of number of high-voltage protective ceramic resistors of type of TVO-60 in the charge-bit chains of powerful CSE. On the operating model standards of powerful CSE experimental approbation of the offered method of protection of their high-voltage condensers is executed from emergency very large currents and resulted calculation correlations on a choice in their chains of number of high-voltage protective resistors.

Key words: powerful capacity store of energy, high-voltage condenser, limitation of emergency overcurrents; choice of number of protective ceramic resistors.

Адаптивное однофазное автоматическое повторное включение линий высокого напряжения на основе параметров установившегося режима

КАЧЕСОВ В.Е., КОШЕЛЬКО С.П.

Традиционное адаптивное однофазное автоматическое повторное включение (АОАПВ) линий электропередачи сверхвысокого напряжения, использующее в качестве информативного параметра действующее значение напряжения на отключенной фазе, может иметь зону нечувствительности в режиме передачи по линии большой мощности. Это обусловлено превышением напряжения во время горения дуги напряжения после ее погасания. Напряжение в конце линии в режиме горения заземляющей дуги обусловлено в основном продольной ЭДС, наводимой токами в неповрежденных фазах. При предельных углах передачи мощности оно превышает напряжение после гашения вторичной дуги, что не позволяет контролировать состояние дуги по напряжению. С помощью простых математических моделей показано существование зон нечувствительности для линий электропередачи без компенсации зарядной мощности с компенсацией трех- или четырехлучевыми реакторами. Для установления факта гашения вторичной дуги предлагается контролировать фазу напряжения. Исследования возможности применения «фазового» метода выполнены с использованием модели линии электропередачи, созданной на основе матричных n -полюсников, учитывающей транспозицию проводов и нелинейный

характер заземляющей дуги. Принципиально фазовый метод не имеет зон нечувствительности, однако в силу малой проводимости канала дуги незначительная зона может иметь место при больших углах передачи мощности и коротких замыканиях вблизи стороны измерения. Определены ограничения применению «фазового» метода АОАПВ и его типичная зона нечувствительности.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, однофазное автоматическое повторное включение, заземляющая дуга, самогашение вторичной дуги, напряжение в режиме горения дуги, восстанавливающееся напряжение, зона нечувствительности, контроль по фазе напряжения

A conventional adaptive single-phase auto-reclosing (ASPAR) of extra high voltage transmission lines which uses as an informative parameter the RMS voltage on the disconnected phase may have a dead-band when a high power is transmitted by transmission line. The line end voltage (measuring by ASPAR device) during arcing fault is mainly determined by longitudinal e.m.f. induced by currents in the healthy phases. At the limit transmission angles, when a line current is significant is higher than the voltage, which recovers after the secondary arc extinction. It does not allow us to monitor the status of arc by voltage. Using simple mathematical transmission line model it's shown the existence of ASPAR dead-bands for both noncompensated and shunt compensated lines. To determine the fact of secondary arc extinction it is proposed to monitor the voltage phase. Study the possibility of applying the "phase" method performed applying sufficiently accurate transmission line model created on the basis of matrix n-poles and taking into account the line transposition and nonlinear nature of the grounding arc. Fundamentally, the phase method has no dead-band but because of small arc channel conductance a minor dead-band may exist at high transmission angles and short circuits near the side of the voltage measurement. The restrictions of the use of phase method and its typical dead-band are shown.

Key words: overhead transmission line, auto-reclosing, grounding arc, secondary arc extinction, arcing voltage, recovery voltage, dead-band, monitor by voltage phase

Список статей, опубликованных в журнале «Электротехника» в 2016 г.

Валерий Александрович Альтов (к 75-летию со дня рождения)

Памяти Ольгерда Владиславовича Слежановского