

Сверхпроводниковые синхронные электрические машины с когтеобразными полюсами и постоянными магнитами на роторе для систем электроснабжения перспективных летательных аппаратов

БОЯРЧУК К.А., ВЕРЖБИЦКИЙ Л.Г., ДУБЕНСКИЙ А.А., КОВАЛЕВ Л.К., КОВАЛЕВ К.Л., КОНДРАТЮК И.К., МОДЕСТОВ К.А.

Рассматриваются вопросы создания сверхпроводниковых синхронных генераторов с осевым возбуждением, когтеобразными полюсами и постоянными магнитами на роторе для возможного использования в системах электроснабжения перспективных летательных аппаратов, в том числе на борту «полностью электрифицированного самолета». Приводится описание возможных конструктивных схем таких генераторов, предложена методика их поверочного электромагнитного расчета. Даны результаты экспериментального исследования маломасштабной модели генератора с когтеобразными полюсами. На основании экспериментальных и теоретических исследований ожидается, что применение сверхпроводниковых обмоток возбуждения вместо медных повысит выходную мощность генератора и увеличит жесткость его внешних характеристик. Показано, что применение постоянных магнитов на роторе вместе со сверхпроводниковыми обмотками возбуждения разгружает магнитную цепь машины и улучшает ее характеристики.

Ключевые слова: синхронный генератор с когтеобразными полюсами, сверхпроводниковые обмотки возбуждения, летательный аппарат, электроснабжение

Matters concerned with the development of prospective superconducting synchronous generators with axial excitation, clawlike poles, and permanent magnets on the rotor are considered. Such generators can be used in the power supply systems of prospective aircrafts, including those for a «fully electrified aircraft». Possible design arrangements of the generators are described, and a procedure for carrying out their check electromagnetic calculation is suggested. Results from an experimental study of a small-scale generator model with clawlike poles are presented. The results obtained from the performed experimental and theoretical investigations give us grounds to expect that that the use of superconducting windings instead of copper ones will make it possible to construct a generator with a higher power output and with more rigid external characteristics. It is shown that the use of permanent magnets on the rotor in combination with superconducting field windings allows certain stress to be relieved from the machine magnetic circuit and better performance of this circuit to be achieved.

Key words: synchronous generator with clawlike poles, superconducting drive winding, aircraft, current supply

Электротермическая стойкость проводов и кабелей летательного аппарата к поражающему действию импульсного тока молнии

БАРАНОВ М.И., КРАВЧЕНКО В.И.

Предложен метод расчетной оценки электротермической стойкости проводов и кабелей с различной изоляцией бортовых электрических цепей летательных аппаратов, испытывающих воздействие на них импульсного тока молнии. Приведены формулы для выбора минимально допустимых и критических поперечных сечений металлических жил и экранов исследуемых проводов и кабелей при протекании по ним импульсной А- и длительной С-компонент тока

молнии. Выполнены приближенные расчеты предельно допустимой и критической плотностей импульсного тока молнии в токонесящих частях проводов и кабелей. С помощью мощного высоковольтного генератора тока искусственной молнии осуществлена экспериментальная проверка работоспособности полученных расчетных соотношений, используемых при оценке электротермической молниестойкости кабельно-проводниковой продукции. Полученные результаты могут быть использованы при решении прикладных задач по обеспечению электротермической молниестойкости электрических цепей авиационной и ракетно-космической техники.

Ключевые слова: летательный аппарат, поражающее воздействие молнии, импульсный ток молнии, кабели, провода, электротермическая молниестойкость

A method is proposed for numerically estimating the electrothermal withstandability of wires and cables in different kinds of insulation used in on-board electric circuits of aircrafts and experiencing the effect of impulse lightning current. Formulas are presented for selecting the minimal permissible and critical cross-section areas of the metal cores and shields of the wires and cables under study with respect to the impulse (A) and continuous (C) components of lightning current flowing through them. Approximate calculations of the maximum permissible and critical densities of impulse lightning current in the live parts of wires and cables are carried out. The validity of the obtained calculation relations intended for estimating the electrothermal lightning withstandability of cable and conductor products is experimentally checked using a high-capacity high-voltage generator of artificial lightning current. The obtained results can be used in solving application tasks concerned with ensuring electrothermal lightning withstandability of electric circuits used in aircraft and rocket-and-spacecraft engineering.

Key words: flying vehicle, striking effect of lightning, impulse lightning current, cables, electrothermal lightning withstandability

Граничная задача релейной защиты

ЛЯМЕЦ Ю.Я., Мартынов М.В.

Рассматриваемая задача связана с отображением режимов имитационной модели защищаемого объекта на плоскости замеров. Всё множество параметров имитационной модели рассмотрено с точки зрения их участия в формировании линии граничных замеров, охватывающей область отображений. Важной составной частью решаемой задачи является построение преобраза линии граничных замеров в трёхмерных объектных подпространствах, входящих в объектное пространство более высокой размерности, где задаётся область определения параметров имитационной модели.

Ключевые слова: релейная защита, граничная задача, имитационная модель, отображение режимов, замер

The problem in question is concerned with mapping the operating modes of a protected plant's simulation model in the plane of measurements. The entire set of simulation model parameters is considered from the viewpoint of their participation in generating the line of boundary measurements enveloping the region of images. One of important constituent parts of the problem being solved consists in constructing a preimage of the line of boundary measurements in 3D object subspaces

included in the object space of a higher dimension, in which the definition domain of the simulation model parameters is specified.

Key words: relay protection, boundary problem, simulation model, imaging of operating modes, measurements

Применение метода оценивания состояния для вычисления предельных режимов электроэнергетической системы

ГЛАЗУНОВА А.М.

Представлен модифицированный метод оценивания состояния для вычисления максимально допустимых перетоков в контролируемых линиях. Наличие данной информации позволяет диспетчеру вести режим с максимальным использованием пропускной способности сети. Достоинство предлагаемого метода заключается в возможности его применения в режиме реального времени. Выполнен краткий обзор существующих методов, используемых для вычисления предельных режимов. Представлена основная идея предложенного метода и введено понятие псевдоизмерения максимально допустимого перетока. Показаны модели измерений, которые применяются в модифицированном оценивании состояния. На основе этих моделей вычисляются весовые коэффициенты измерений и псевдоизмерений максимально допустимого перетока. Представлены результаты расчетов максимально допустимых перетоков в контролируемых линиях на тестовой схеме методом непрерывного утяжеления и предложенным методом. Выполнен сопоставительный анализ полученных результатов.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, оценивание состояния, измерения, максимально допустимый переток, предельный режим, расчет

A modified state estimation method for calculating the maximum permissible power flows in the monitored power lines is presented. With such information available, the power system dispatch control center operator can to operate the power system with using the network transmission capacity to the maximal extent. The advantage of the proposed method consists in the possibility of using it in the online mode. The existing methods used for calculating the limiting operating conditions are briefly reviewed. The main idea of the proposed method is presented, and the notion of pseudo measurement of the maximum permissible power flow is introduced. The measurement models used in the modified state estimation method for calculating the weighting coefficients of measurements and pseudo measurements of the maximum permissible power flow are shown. Results obtained from calculations of the maximum permissible power flows through the monitored lines in a test power system configuration carried out using the continuous aggravation method and using the proposed method are presented. A comparative analysis of the obtained results is performed.

Key words: electric power system, state estimation, measurements, maximum permissible power flow, limiting operating mode, calculation

Нагрузочные характеристики бакового выключателя с вакуумной дугогасительной камерой и элегазовой изоляцией на номинальное напряжение 110 кВ

ИВАНОВ А.Н., МОРОЗОВ С.А., ПАРФЕНОВ Д.Е., ЧЕМЕРИС В.С., БЕЛКИН Г.С.

Проведен анализ тенденций развития вакуумной коммутационной аппаратуры в современной электроэнергетике. Представлена конструкция бакового элегазового выключателя с вакуумной дугогасительной камерой на номинальное напряжение 110 кВ как образец перспективного высоковольтного оборудования. Проведено исследование нагрузочных характеристик в нормальных условиях и подтверждена нагрузочная способность аппарата при номинальных токах 2500 и 3150 А для условий низких температур окружающей среды и при аварийном сбросе давления.

Ключевые слова: баковый элегазовый выключатель, вакуумная дугогасительная камера, нагрузочная способность, ток, давление, элегаз

The trends existing in the development of vacuum switching apparatuses for the modern electric power engineering are analyzed. The design of a tank-type SF₆ circuit breaker equipped with a vacuum arc chute for a 110 kV voltage rating is presented as a prospective model of high-voltage equipment. The apparatus loading characteristics are investigated under normal conditions of its operation, and its load capacity at rated currents equal to 2500 and 3150 A under the conditions of low ambient temperatures and emergency drop of pressure is confirmed.

Key words: tank-type SF₆ circuit breaker, vacuum arc chute, load capacity, current, pressure, sulfur hexafluoride

Особенности подчиненного регулирования координат в самообучающихся мехатронных электроприводах циклического действия

НИКОЛЬСКИЙ А.А.

Самообучающиеся мехатронные электроприводы циклического действия предназначены для точного воспроизведения повторяющихся движений (привод манипуляторов, подачи режущего инструмента станков при обработке серийных деталей и т.п.). Показано, что системы, содержащие внутренний подчиненный контур самообучения по скорости исполнительного органа, требуют коррекции объекта управления не только в высокочастотной, но и в низкочастотной зонах его частотной передаточной функции (ЧПФ). Предложены системы с несколькими подчиненными контурами самообучения. Такие системы преследуют одновременно несколько связанных целей (своя цель в каждом контуре) и самостоятельно изменяют в процессе работы задающие воздействия отдельных контуров самообучения. Условия устойчивости для системы с двумя соподчиненными контурами самообучения определены как зона допустимого расположения годографа ЧПФ объекта управления на комплексной плоскости, образованной пересечением областей устойчивого самообучения, разрешенных для отдельных контуров. Для мехатронных приводов подачи станков некруглого точения предложена циклическая система с двумя соподчиненными контурами самообучения по координатам перемещения инструмента и формы изделий, исключающая ошибки формы, вызванные периодическими погрешностями станка и деформациями заготовки при креплении.

Ключевые слова: самообучающиеся электроприводы, циклические системы управления, подчиненное регулирование, многоканальное самообучение, устойчивость, коррекция

Self-learning cyclic-duty mechatronic electric drives are intended to precisely reproduce repeating motions (for driving manipulators, for moving the cutting tool of lathes in processing serially produced

parts, etc.). It is shown that systems containing an inner subordinate self-learning loop for the actuator motion speed require correction of the controlled plant not only in the high-frequency, but also in the low-frequency zones of its frequency transfer function. Systems containing a few subordinate self-learning loops are proposed. Such systems are intended to pursue several interconnected goals simultaneously (each loop pursues its own goal) and independently adjust the reference inputs of individual self-learning loops in the course of operation. The stability conditions for a system having two co-subordinate self-learning loops are defined as the permissible zone of the controlled plant loci in a complex plane formed by intersection of stable self-learning domains permitted for individual loops. A cyclic system containing two co-subordinate self-learning loops with respect to the tool displacement coordinates and shape of articles is proposed for the mechatronic drives used to move the cutting tools in nonround turning lathes. The use of this system makes it possible to exclude shape errors stemming from periodic errors of the lathe and deformations occurring in the billet in fixing it.

Key words: self-learning electric drives, cyclic-duty control systems, subordinate control, multichannel self-learning, stability, correction

Математическая модель постоянного магнита в воздушном зазоре электрической машины

АФАНАСЬЕВ А.А.

Источником радиального и тангенциального полей постоянных магнитов электрической машины может быть система эквивалентных токнесущих шин, толщина которых зависит от материала магнитов. В статье предлагается методика, позволяющая рассчитать поле рассеяния в зоне стыка разнополюсных магнитов.

Ключевые слова: электрические машины, постоянные магниты, эквивалентные шины, встречно-параллельные токи, зеркальные образы, вынутый ротор, пазы

A system of equivalent current-carrying busbars can serve as a source of the radial and tangential fields produced by the permanent magnets used in an electrical machine; the thickness of such busbars depends on the magnet material. A procedure is proposed using which the leakage field in the interface zone of opposite-pole magnets can be calculated.

Key words: electrical machines, permanent magnets, equivalent busbars, opposite-parallel currents, mirror images, withdrawn rotor, slots

Асинхронизированный вентильный двигатель как многоканальный объект управления

ТУТАЕВ Г.М.

Показано, что применение двух преобразователей для питания цепей статора и ротора асинхронизированного вентильного двигателя позволяет осуществлять управление двигателем по четырем каналам. Это дает возможность расширить диапазон регулирования скорости, увеличить перегрузочную способность при тяжелом пуске и достичь высоких энергетических показателей. При регулировании частоты возбуждения вплоть до перехода на встречное вращение магнитного поля ротора можно уменьшить установленные мощности преобразователей частоты до половины мощности базовой машины. Реализация концепции многоканального управления требует синтеза

сложной системы регулирования, учитывающей нелинейность характеристики намагничивания и потери в стали статора.

Ключевые слова: асинхронизированный вентильный двигатель, управление, скорость, перегрузочная способность, энергетические показатели

It is shown that the use of two converters for supplying power to the stator and rotor circuits of an asynchronous converter-fed motor allows four-channel control of the motor to be implemented. As a result, it becomes possible to extend the speed adjustment range, to obtain a higher overloading capacity in case of severe startup conditions, and to achieve high power performance characteristics. With excitation control performed up to a shift for rotating the rotor magnetic field in the opposite direction, the installed capacities of the frequency converters can be decreased to half the base machine capacity. Implementation of the multichannel control concept implies the need to synthesize an intricate control system that must take into account the magnetization characteristic and losses in the stator core.

Key words: asynchronous converter-fed motor, control, speed, overloading capacity, power performance indicators

Моделирование индукционных нагревателей с учетом особенностей работы тиристорного преобразователя частоты с параллельным инвертором

ДЕМИДОВИЧ В.Б., ГРИГОРЬЕВ Е.А., ЧМИЛЕНКО Ф.В., М'ЛИКИ МОХАМЕД АМИН, ЮЛЕГИН А.Н.

Рассматриваются вопросы моделирования работы индукционного нагревателя периодического действия при питании его от параллельного инвертора. Для исследования была разработана в программной среде Universal2D модель такого нагревателя с учетом характеристик тиристорного преобразователя частоты. Проанализированы примеры нагрева титановой и стальной заготовок с учетом и без учета изменения частоты в процессе нагрева. Также исследован характер зависимости частоты питающего напряжения от геометрических размеров заготовки при определенной емкости контура. Даны разъяснения и рекомендации по выбору оптимальной емкости контура для получения номинальных значений мощности и частоты источника питания.

Ключевые слова: индукционный нагрев, тиристорный преобразователь частоты, индукционный нагреватель, моделирование

Matters concerned with simulating the operation of a periodic-duty induction heater powered from a parallel inverter are addressed. A model of such heater, constructed with due regard of the characteristics of a thyristor frequency converter, was developed in the Universal2D software environment for carrying out the study. Examples of heating titanium and steel billets performed with and without taking into account frequency variation during the heating process are proposed. The dependence of power supply voltage frequency on the billet geometrical sizes at certain capacitance of the loop is also studied. Explanations and recommendations on selecting the optimal loop capacitance for obtaining the nominal values of power source capacity and frequency are given.

Key words: induction heating, thyristor frequency converter, simulation of an induction heater

Символьный анализ электрических цепей с нулловыми и зеркальными аномальными элементами

КУРГАНОВ С.А, ФИЛАРЕТОВ В.В.

Предложен метод безызбыточного топологического анализа электрических цепей со всеми известными аномальными элементами: двумя нулловыми (нуллатор и нолатор) и двумя зеркальными (зеркало напряжения и зеркало тока). Определитель схемы с зеркальным элементом представляется как сумма определителей двух модификаций исходной схемы. Установлено, что существование контуров с четным числом зеркальных элементов влечет вырождение схемы.

Ключевые слова: символьный анализ, аномальный элемент, нулловый, зеркала напряжения и тока, схемный определитель, схемная функция

We propose a method for carrying out non-redundant topological analysis of electric circuits with all known abnormal elements, two nullor elements (a nullator and a nolator), and two mirror elements (a voltage mirror and a current mirror). The determinant of the circuit with a mirror element is represented as the sum of determinants of two initial circuit modifications. It is found that the existence of loops having an even number of mirror elements entails degeneration of the circuit.

Key words: symbolic analysis, abnormal element, nullor, voltage and current mirrors, circuit determinant, circuit function

Юрий Гевондович Шакарян

(К 80-летию со дня рождения)