

Содержание

Высокооборотная электрическая машина с магнитопроводом из аморфного магнитомягкого материала

ИСМАГИЛОВ Ф.Р., ВАВИЛОВ В.Е., УРАЗБАХТИН Р.Р.

Обоснована целесообразность применения аморфного магнитомягкого материала (АММ) в высокооборотных электрических машинах. Приведено описание проектирования машины с магнитопроводом из АММ, приведены результаты ее исследования методами компьютерного моделирования. Приведены результаты экспериментальных исследований машины с магнитопроводом из АММ, валидируются результаты компьютерного моделирования.

Ключевые слова: высокооборотная электрическая машина, постоянные магниты, магнитопровод, аморфный магнитомягкий материал.

The expediency of using an amorphous soft magnetic material (AMM) in high-speed electric machines is substantiated. A description of the design of a machine with an AMM magnetic core is given, and the results of its study by computer modeling methods are presented. The results of experimental studies of a machine with an AMM magnetic core are presented, and the results of computer modeling are validated.

Key words: high-speed electric machine, permanent magnets, magnetic circuit, amorphous soft magnetic material.

Электрифицированные и гибридные силовые установки летательных аппаратов с вертикальным взлетом и посадкой

ПОДГУЗОВ А.А., ГАРИПОВ И.Р., ВАВИЛОВ В.Е.

На рынке беспилотных летательных аппаратов расширяется применение гибридно-электрических и полностью электрических технологий, что способствует росту городской аэромобильности и доставки грузов, несмотря на существующие технологические и

инфраструктурные вызовы. Летательные аппараты с вертикальным взлетом и посадкой классифицируются по типам силовых установок, включая традиционные вертолеты, системы с отдельным подъемом и тягой, а также распределенные установки. Среди концепций гибридных силовых установок существуют три основные схемы: классическая с боковыми роторами, схема с отдельными двигателями и последовательная схема с поворотными крыльями. Каждая из этих схем требует комплексного подхода к управлению и интеграции подсистем, включающих накопители энергии и электроприводы с системами терморегулирования. Основные исследования сосредоточены на оптимизации распределенных силовых установок, что особенно важно для городской аэромобильности и грузоперевозок. Внедрение гибридно-электрических систем позволяет преодолеть ограничения, связанные с аккумуляторными батареями, увеличивая дальность полета и снижая выбросы вредных веществ. Гибридные установки, в которых сочетаются тепловые машины и аккумуляторы, открывают новые возможности экономии энергии и снижения эксплуатационных затрат. Газотурбинные двигатели и использование сжиженного природного газа, по всей видимости, можно считать наиболее эффективным решением для минимизации эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: гибридно-электрические силовые установки, аккумуляторные батареи, турбовальный двигатель, электрическая машина, электропривод, система охлаждения.

The adoption of hybrid-electric and all-electric technologies is expanding in the unmanned aerial vehicle market, which contributes to the growth of urban air mobility and cargo delivery, despite existing technological and infrastructural challenges. Aircraft with vertical takeoff and landing are classified by types of power plants, including traditional helicopters, systems with separate lift and thrust, as well as distributed installations. Among the concepts of hybrid power plants, there are three main schemes: the classic one with side rotors, the scheme with separate thrusters and the sequential scheme with rotary wings. Each of these systems requires an integrated approach to the management and integration of subsystems, including energy storage and electric drives with thermal control systems. The main research focuses on the optimization of distributed power plants, which is especially important for urban air mobility and cargo transportation. The introduction of hybrid-electric systems makes it possible to overcome the limitations associated with batteries, increasing flight range and reducing emissions of harmful substances. Hybrid installations that combine heat engines and batteries open up new opportunities to save energy and reduce operating costs. Gas turbine engines and the use of liquefied natural gas, apparently, can be considered the most effective solution to minimize operating costs.

Key words: hybrid-electric power plants, rechargeable batteries, turboshaft engine, electric machine, electric drive, cooling system.

Электротехника, 2024, №12, стр. 15-19

Расчет прочности и деформаций модульного безредукторного электропривода
ЯМАЛОВ И.И., БАРАБАНОВ К.А., ИЛЬЯСОВ Д.Р.

Рассмотрена конструкция модульного электропривода, включающая три статора и ротора, объединенные в одном корпусе. Для проверки прочности и деформаций вала проведен механический анализ в пакете Ansys, который показал, что максимальные деформации и напряжения остаются в допустимых пределах, что подтверждает надежность и прочность разработанной конструкции вала.

Ключевые слова: модульный безредукторный электропривод, механическая прочность, деформации, расчет, пакет Ansys.

The design of a modular electric drive is considered, including three stators and rotors combined in one housing. To check the strength and deformations of the shaft, a mechanical analysis was carried out in the Ansys package, which showed that the maximum deformations and stresses remain within acceptable limits, which confirms the reliability and strength of the developed shaft design.

Key words: modular gearless electric drive, mechanical strength, deformations, calculation, Ansys package.

Электротехника, 2024, №12, стр. 20-25

Исследование теплового состояния электродвигателя с магнитопроводом из аморфного магнитомягкого материала

ВАВИЛОВ В.Е., ИСМАГИЛОВ Ф.Р., УРАЗБАХТИН Р.Р.

Рассмотрено тепловое состояние электродвигателя с магнитопроводом из аморфного магнитомягкого материала (АММ). Рассмотрены физические свойства АММ и магнитопровода из него, определены коэффициенты теплопроводности. Рассмотрен электродвигатель с постоянными магнитами и магнитопроводом из АММ, приведены результаты его компьютерного моделирования. Приведены результаты исследования теплового состояния электродвигателя с постоянными магнитами и магнитопроводом из

АММ по сравнению с тепловым состоянием аналогичного электродвигателя с постоянными магнитами и магнитопроводом из электротехнической стали.

Ключевые слова: электродвигатель, постоянные магниты, магнитопровод, аморфный магнитомягкий материал, тепловое состояние.

The thermal state of an electric motor with a magnetic core made of an amorphous soft magnetic material (AMM) is considered. The physical properties of the AMM magnetic core from it are considered, the thermal conductivity coefficients are determined. An electric motor with permanent magnets and an AMM magnetic circuit is considered, and the results of its computer modeling are presented. The results of a study of the thermal state of an electric motor with permanent magnets and a magnetic circuit made of AMM compared with the thermal state of a similar electric motor with permanent magnets and a magnetic circuit made of electrical steel are presented.

Key words: electric motor, permanent magnets, magnetic circuit, amorphous soft magnetic material, thermal state.

Электротехника, 2024, №12, стр. 26-30

Расчет электрического поля в неоднородном диэлектрике сотовой структуры методом конечных элементов

МАКСУДОВ Д.В.

Применение метода конечных элементов для расчёта распределения электрического поля рассмотрено на примере озонатора, включающего сотовой диэлектрический блок, в каналы которого в шахматном порядке вложены две группы электродов, подключенных к высоковольтному источнику питания. Показано, что для каналов, не принадлежащих поверхностному слою, распределение напряженности электрического поля имеет двухосевую симметрию. Кроме того, для всех каналов профиль кривой напряженности электрического поля вдоль линии, соединяющей ближайшие точки высоковольтного и заземленного электродов двух смежных каналов, симметричен относительно середины этой линии. Эти закономерности представляют интерес для оптимизации данной конструкции озонатора и исследования развития в нем барьерного разряда.

Ключевые слова: озонаторы, диэлектрик сотовой структуры, распределение электрического поля, математическое моделирование, метод конечных элементов.

The modeling of the electric field distribution in an inhomogeneous dielectric of a cellular

structure is considered, for example, in the design of an ozonator, when electrodes connected to a high-voltage power source are staggered into the channels of the dielectric. The simulation results showed that for channels that do not belong to the surface layer, the electric field strength distribution has a two-axis symmetry. In addition, for all channels, the profile of the electric field strength curve along the line connecting the nearest points of the high-voltage and grounded electrodes of two adjacent channels is symmetrical relative to the middle of this line. These patterns are of interest for optimizing this ozonator design and investigating the development of a barrier discharge in it.

Key words: ozonators, dielectric of cellular structure, electric field distribution, mathematical modeling, finite element method.

Электротехника, 2024, №12, стр. 31-37

Стартер-генераторы интегрированного исполнения для газотурбинных двигателей (Обзор)

ЮШКОВА О.А., ИСМАГИЛОВ Ф.Р., ВАВИЛОВ В.Е., ПОДГУЗОВ А.А.,

Представлен обзор патентных разработок ведущих фирм-производителей авиационной техники в области интегрированных стартер-генераторов (СГ) для газотурбинных двигателей. Выполнен комплексный анализ технических характеристик СГ, определены возможные зоны интеграции электрических СГ в газотурбинный двигатель и типы электрических машин для этих целей. Приведены показатели технического уровня и тенденции развития интегрированных СГ. Сделаны выводы о текущем технологическом состоянии разработок СГ, предложены рекомендации по её улучшению.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, интегрированный стартер-генератор, технический уровень, патентные разработки ведущих фирм.

The review of patent developments of leading manufacturers of aviation equipment in the field of integrated starter generators (SG) for gas turbine engines is presented. A comprehensive analysis of the technical characteristics of the SG was performed, possible zones of integration of electric SG into a gas turbine engine and types of electric machines for these purposes were determined. The indicators of the technical level and trends in the development of integrated systems are given. Conclusions are drawn about the current technological state of SG developments, recommendations for its improvement are proposed.

Key words: gas turbine engine, integrated starter generator, technical level, patent developments of leading companies.

Электротехника, 2024, №12, стр. 38-42

Оптимизация высокоскоростной электрической машины с внешним ротором при помощи генетического алгоритма

ЕРЕМЕНКО В.В., ГАРИПОВ И.Р., ГОРЮХИН М.О., КРАСНОПЕРОВ Д.Г.

Электрические машины с постоянными магнитами являются одним из перспективных решений в задачах, где необходимы небольшие массогабаритные показатели и высокая удельная мощность. Примером таких приложений являются электрические и гибридно-электрические силовые установки, в которых высокие удельные характеристики могут быть достигнуты путем создания высокоскоростных машин. При этом одними из ключевых являются проблемы прочности и охлаждения. В статье приведены результаты оптимизации конструкции ротора электрической машины с применением методов эволюционных алгоритмов; определены также основные зависимости варьируемых параметров от критериев оптимизации.

Ключевые слова: электрические машины с постоянными магнитами, многокритериальная оптимизация, внешний ротор, статическая прочность, генетические алгоритмы.

Electric machines with permanent magnets are one of the promising solutions in tasks where small weight and size indicators and high specific power are required. An example of such applications are electric and hybrid-electric power plants, in which high specific characteristics can be achieved by creating high-speed machines. At the same time, one of the key problems is strength and cooling. The article presents the results of optimizing the rotor design of an electric machine using the methods of evolutionary algorithms; The main dependences of the varied parameters on the optimization criteria are also determined.

Key words: electric machines with permanent magnets, multi-criteria optimization, external rotor, static strength, genetic algorithms.

Электротехника, 2024, №12, стр. 43-47

Моделирование магнитных подшипников с разной конфигурацией пазов в корпусе электромагнита

ШАРАФУТДИНОВ Ш.Н., ИЛЬЯСОВ Д.Р.

Рассмотрены различные конструкции магнитных подшипников. Показано, что отсутствие пазов в полюсах электромагнита несколько увеличивает тяговую мощность подшипника;

при выборе стали для осевых подшипников необходимо учитывать не только их магнитные свойства, но и механическую прочность диска подшипника.

Ключевые слова: магнитные подшипники, активный магнитный подвес, статор, осевой магнитный подшипник.

Various designs of magnetic bearings are considered. It is shown that the absence of grooves in the poles of the electromagnet slightly increases the traction power of the bearing; when choosing steel for axial bearings, it is necessary to take into account not only their magnetic properties, but also the mechanical strength of the bearing disc.

Key words: active magnetic suspension, axial magnetic bearing, simulation.

Электротехника, 2024, №12, стр. 48-53

Концепция разработки и внедрения интегрированного авиационного генератора с внешним ротором

ОХОТНИКОВ М.В.

Использование генератора с внешним ротором по сравнению с классическим исполнением генератора с внутренним ротором позволяет при равных габаритах обеспечить рост удельных показателей от 10 до 34% и получить удельную мощность порядка 3,87 кВт/кг по сравнению с 2,56 кВт/кг у генератора с внутренним ротором. За счет увеличения площади внешнего ротора можно увеличить теплоотдачу, тем самым сохраняя рабочий температурный диапазон постоянных магнитов и обеспечивая работоспособность всей системы в целом. Показано, что имеющийся технологический опыт позволяет реализовать идею интеграции авиационного генератора внутри авиационного двигателя. Подробно представлена технология сборки генератора с внешним ротором.

Ключевые слова: интегрированный авиационный генератор, внешний ротор, массогабаритные показатели, технология сборки.

The use of a generator with an external rotor in comparison with the classical version of a generator with an internal rotor allows, with equal dimensions, to ensure an increase in specific indicators from 10 to 34% and to obtain a specific power of about 3.87 kW / kg compared with 2.56 kW / kg for a generator with an internal rotor. By increasing the area of the external rotor, heat transfer can be increased, thereby maintaining the operating temperature range of permanent magnets and ensuring the operability of the entire system as a whole. It is shown that the existing

technological experience makes it possible to implement the idea of integrating an aircraft generator inside an aircraft engine. The assembly technology of the generator with an external rotor is presented in detail.

Key words: integrated aircraft generator, external rotor, weight and dimensions, assembly technology.

Электротехника, 2024, №12, стр. 54-57

О возможности аддитивной печати обмоток электрических машин

ШАЙХЛИСЛАМОВ А.И., ИСМАГИЛОВ Ф.Р.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности обмоток электрических машин (уменьшения потерь переменного тока, снижения затрат и сокращения времени на производство) является аддитивная печать обмоток. Она позволяет добиться ряда улучшений, например, интегрировать токопроводящие провода в диэлектрический материал, печатать полые проводники из различных материалов для повышения плотности тока и отвода тепла в электрической машине с высокой удельной мощностью. Аддитивная печать позволяет также получать обмотки особой формы, которая снижает потери переменного тока высокоскоростных электрических машин. В статье выполнен обзор публикаций в области аддитивной печати обмоток электрических машин.

Ключевые слова: электрическая машина, аддитивная печать, интеграция проводов, теплообмен, полые проводники, удельная мощность.

One of the promising directions for improving the efficiency of electric machine windings (reducing AC losses, reducing costs and reducing production time) is additive winding printing. This makes it possible to achieve a number of improvements, for example, to integrate conductive wires into a dielectric material, to print hollow conductors from various materials to increase current density and heat dissipation in an electric machine with a high specific power. Additive printing also makes it possible to obtain windings of a special shape, which reduces the AC losses of high-speed electric machines. The article provides an overview of publications in the field of additive printing of windings of electric machines.

Key words: electric machine, additive printing, wire integration, heat transfer, hollow conductors, specific power.

Разработка модульного СДПМ для привода воздушного винта

БАРАБАНОВ К.А., ЯМАЛОВ И.И., ШАРАФУТДИНОВ Ш.Н.

Рассмотрен модульный синхронный двигатель с постоянными магнитами для привода воздушного винта. Выполнен анализ существующих решений, описаны требования к двигателю для применения в авиационной сфере, рассмотрены основные этапы проектирования двигателя; особое внимание уделено оптимизации его конструкции с целью достижения максимальной эффективности и уменьшения массы.

Ключевые слова: привода воздушного винта, синхронный двигатель с постоянными магнитами, силовая установка, оптимизация конструкции.

A modular synchronous motor with permanent magnets for propeller drive is considered. The analysis of existing solutions is carried out, the requirements for the engine for use in the aviation field are described, the main stages of engine design are considered; special attention is paid to optimizing its design in order to achieve maximum efficiency and reduce weight.

Key words: propeller drive, synchronous motor with permanent magnets, power plant, design optimization.

О тарифном регулировании электрозарядной инфраструктуры для электромобилей

ВОРОНИН В.А., НЕПША Ф.С., ИЛЮШИН П.В.

Выполнен анализ подходов к тарифному регулированию электрозарядной инфраструктуры для электромобилей с целью ограничения перегрузок центров питания электросетевых компаний. Разработана имитационная модель электрозарядной инфраструктуры, позволяющая моделировать изменение уровня заряда батарей электромобилей в течение суток, а также поведение водителей при их заряде с учетом особенностей городской электрозарядной инфраструктуры, времени суток, мест размещения электрозарядных станций и их загруженности, а также тарифа на заряд электромобилей. Моделирование выполнено с использованием метода мультиагентного моделирования в программной среде AnyLogic. Проведена оценка совмещенного максимума нагрузки центра питания и электрозарядной инфраструктуры, а также уровня доходов владельцев электрозарядных станций при различных тарифах на покупку электроэнергии для электрозаправочных станций и разных подходах к выбору тарифа на

заряд электромобилей.

Ключевые слова: электромобиль, электрозарядная станция, центр питания, мультиагентное моделирование, тариф на заряд электромобиля.

The analysis of approaches to tariff regulation of electric charging infrastructure for electric vehicles in order to limit overloads of power supply centers of electric grid companies is carried out. A simulation model of the electric charging infrastructure has been developed that allows simulating changes in the battery level of electric vehicles during the day, as well as the behavior of drivers when charging them, taking into account the characteristics of the urban electric charging infrastructure, time of day, locations of electric charging stations and their workload, as well as the tariff for charging electric vehicles. The simulation was performed using the multi-agent modeling method in the AnyLogic software environment. An assessment of the combined maximum load of the power supply center and the electric charging infrastructure, as well as the income level of owners of electric charging stations at different tariffs for the purchase of electricity for electric filling stations and different approaches to choosing a tariff for charging electric vehicles, was carried out.

Key words: electric vehicle, electric charging station, power center, multi-agent modeling, electric vehicle charge rate.

Электротехника, 2024, №12, стр. 76-77

Авторы номера

Электротехника, 2024, №12, стр. 78-84

Список статей, опубликованных в журнале «Электротехника» в 2024 г.