

Содержание

Электротехника, 2025, №2, стр. 2-11

Концепция и основные результаты разработки асинхронных электродвигателей с выемным сердечником

БЕДЕКЕР А.А., ЗАХАРОВ А.В., КАЩЕНКОВ А.В., КУДРЯШОВ С.В.

Представлен алгоритм и основные результаты разработки линейки электродвигателей модульной конструкции. Технология производства сердечников статора предполагает раздельное изготовление станины и обмотанного сердечника статора с их последующей сборкой. Конструктивные элементы двигателей линейки (станины, подшипниковые щиты, модули охлаждения, клеммные коробки и др.) унифицированы с возможностью их комбинирования для двигателей нескольких габаритов. При проектировании активной части принята концепция максимальной унификации технологической оснастки. Значительное внимание было уделено повышению КПД путем снижения добавочных потерь. Алгоритм проектирования основан на комбинированном использовании математических моделей, основанных на теории цепей, и моделей на основе метода конечных элементов.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, двигатель модульной конструкции, унификация конструктивных элементов, алгоритмы проектирования, математические модели.

The algorithm and the main results of the development of a line of modular electric motors are presented. The technology of manufacturing stator cores involves the separate manufacture of the bed and the wound stator core with their subsequent assembly. The structural elements of the range's engines (bed, bearing shields, cooling modules, terminal boxes, etc.) are unified with the possibility of combining them for engines of several sizes. When designing the active part, the concept of maximum unification of technological equipment was adopted. Considerable attention has been paid to improving efficiency by reducing additional losses. The design algorithm is based on the combined use of

mathematical models based on circuit theory and models based on the finite element method.

Key words: asynchronous electric motor, modular design motor, unification of structural elements, design algorithms, mathematical models.

Электротехника, 2025, №2, стр. 12-19

Асинхронный двигатель с кольцевыми обмотками с керамической изоляцией для работы в зоне повышенной радиации

ТИХОНОВА О.В., КУЛАКОВ С.Л., МАЛЫГИН И.В., ПЛАСТУН А.Т.

Рассмотрена конструкция асинхронного двигателя с кольцевыми обмотками с керамической изоляцией, предназначенного для работы в условиях повышенной радиации. На предприятиях по переработке ядерного топлива для привода насосов-дозаторов используются асинхронные двигатели мощностью до 20 кВт со всыпной обмоткой статора. Для продления срока службы двигателей их выносят за пределы радиоактивной камеры, что усложняет их обслуживание. Для катушек статора предлагается применять керамическую изоляцию, что позволит продлить срок службы двигателя без выноса его из радиоактивной зоны. Для возможности применения кольцевых катушек разработана новая конструкция статора, в котором вращающееся магнитное поле в двигателе создается с помощью специальным образом организованной магнитной системы. Испытания опытного образца двигателя показали, что его максимальный момент меньше, чем у двигателей классической конструкции той же мощности. В связи с наличием осевой составляющей магнитного потока на параметры машины существенно влияют вихревые токи. Показаны изменения, внесенные в конструкцию первого опытного образца двигателя с целью повышения его максимального момента. На первом этапе изменения апробируются с помощью цифровых расчетных моделей, на втором – с помощью натуральных испытаний.

Ключевые слова: атомные электростанции, зоны повышенной радиации, асинхронный двигатель, кольцевые обмотки, керамическая изоляция, электромагнитный момент, цифровая модель, метод конечных элементов.

The design of an asynchronous motor with annular windings with ceramic insulation, designed to operate in conditions of high radiation, is considered. At nuclear fuel reprocessing plants, asynchronous motors with a capacity of up to 20 kW with a loose stator winding are

used to drive metering pumps. To extend the service life of the engines, they are taken outside the radioactive chamber, which complicates their maintenance. It is proposed to use ceramic insulation for the stator coils, which will extend the service life of the engine without removing it from the radioactive zone. For the possibility of using ring coils, a new stator design has been developed in which a rotating magnetic field in the motor is created using a specially organized magnetic system. Tests of the prototype engine have shown that its maximum torque is less than that of classic engines of the same power. Due to the presence of the axial component of the magnetic flux, eddy currents significantly affect the parameters of the machine. The changes made to the design of the first prototype engine in order to increase its maximum torque are shown. At the first stage, the changes are tested using digital calculation models, at the second – using field tests.

Key words: nuclear power plants, high radiation zones, asynchronous motor, ring windings, ceramic insulation, electromagnetic torque, digital model, finite element method.

Электротехника, 2025, №2, стр. 20-30

Электродвижение судна на основе реактивной синхронной машины и преобразователя частоты

ВОРОНЦОВ А.Г., РОЗБИЦКИЙ Г.Г., ПРОНИН М.В., ГЛУШАКОВ В.В.

Рассмотрены возможности построения системы электродвижения судна на основе реактивной синхронной машины и преобразователя частоты. В преобразователе использован транзисторный автономный инвертор напряжения и диодный или транзисторный активный выпрямитель. Предложены алгоритмы управления инвертором и двигателем с использованием трехфазного фильтра напряжений управления с подстройкой частоты. Моделирование установки выполнено по методологии расчета систем по взаимосвязанным подсистемам, позволяющей минимизировать затраты машинного времени на расчеты и анализ длительных электромеханических процессов. Описана структура моделей, дано математическое описание электромеханических процессов. Представлены результаты анализа установившихся и переходных процессов, в том числе реверса гребного двигателя. Рассмотрены некоторые аварийные процессы, а также некоторые возможности их предотвращения.

Ключевые слова: системы электродвижения судна, реактивная синхронная машина, преобразователь частоты, активный выпрямитель, моделирование.

The possibilities of building a ship's electric propulsion system based on a reactive synchronous machine and a frequency converter are considered. The converter uses a transistor autonomous voltage inverter and a diode or transistor active rectifier. Algorithms for controlling the inverter and motor using a three-phase control voltage filter with frequency adjustment are proposed. The simulation of the installation was carried out according to the methodology of calculating systems for interconnected subsystems, which minimizes the cost of machine time for calculations and analysis of long-term electromechanical processes. The structure of the models is described, and a mathematical description of electromechanical processes is given. The results of the analysis of steady-state and transient processes, including the reverse of the propeller engine, are presented. Some emergency processes are considered, as well as some ways to prevent them.

Key words: ship electric propulsion systems, reactive synchronous machine, frequency converter, active rectifier, modeling.

Электротехника, 2025, №2, стр. 31-39

Электропривод на базе асинхронных электрических машин для специального самоходного подвижного состава

ФЛОРЕНЦЕВ С.Н., БАЙДА С.В., ОРЛОВ В.Н., ЖУРОВ И.О., УВАРОВ А.А.,
ПОЛЮХОВИЧ В.С.

Рассмотрены результаты разработки и внедрения комплектов тягового электрооборудования на базе асинхронных мотор-генераторов, тяговых асинхронных двигателей для электромеханических трансмиссий специального самоходного подвижного состава – мотовозов, автомотрис, укладочных кранов, маневровых тепловозов. Показаны преимущества по экономии топлива, улучшенным тягово-динамическим характеристикам, повышенной надежности, сниженным эксплуатационным затратам по сравнению с подобными составами на базе синхронных генераторов и коллекторных электродвигателей, а также составов с гидropередачей.

Ключевые слова: специальный самоходный подвижной состав, асинхронный генератор, асинхронный двигатель, преобразователь частоты.

The results of the development and implementation of sets of traction electrical equipment based on asynchronous motor generators, traction asynchronous motors for electromechanical transmissions of special self-propelled rolling stock – motor locomotives, autoworks, laying cranes, shunting locomotives are considered. The advantages of fuel economy, improved traction and dynamic characteristics, increased reliability, and reduced operating costs are shown compared with similar compositions based on synchronous generators and collector electric motors, as well as compositions with hydraulic transmission.

Key words: special self-propelled rolling stock, asynchronous generator, asynchronous motor, frequency converter.

Электротехника, 2025, №2, стр. 40-48

Опыт разработки и модернизации комплекта электрических машин для электромеханической трансмиссии трактора «Беларус-3023»

ЗАЙЦЕВ А.М., ЗАХАРОВ А.В., КОБЕЛЕВ А.С., МАКАРОВ Л.Н.

Представлена конструкция комплекта электрических машин для электромеханической трансмиссии колесного энергонасыщенного трактора мощностью 300 л.с. Комплект состоит из полностью унифицированных асинхронного мотор-генератора и тягового асинхронного двигателя,. Рассмотрены основные технические решения, принятые при разработке электрических машин комплекта. Приведена история модификации активной части электрической машины, обусловленная эксплуатационными испытаниями первой установочной серии трактора «Беларус-3023» с электромеханической трансмиссией. Приведены сравнительные характеристики электрической машины при различных вариантах сердечника статора и ротора, приведены показатели долговечности, рассчитанные для рассмотренных вариантов. Обоснованы перспективы применения полузакрытых пазов статора с всыпной обмоткой из провода круглого сечения, а также литой алюминиевой обмотки ротора.

Ключевые слова: энергонасыщенный сельскохозяйственный трактор, электромеханическая трансмиссия, комплект тягового электрооборудования, асинхронный генератор, тяговый асинхронный двигатель.

The design of a set of electric machines for the electromechanical transmission of a wheeled energy-saturated tractor with a capacity of 300 hp is presented. The set consists of a fully unified asynchronous motor generator and a traction asynchronous motor. The main technical solutions adopted in the development of electric machines of the kit are considered. The history of modification of the active part of the electric machine is given, due to operational tests of the first installation series of the tractor "Belarus-3023" with an electromechanical transmission. Comparative characteristics of an electric machine with different versions of the stator and rotor cores are given, and durability indicators calculated for the considered options are given. The prospects of using semi-closed stator slots with a loose winding made of round-section wire, as well as cast aluminum rotor winding, are substantiated.

Key words: energy-saturated agricultural tractor, electromechanical transmission, set of traction electrical equipment, asynchronous generator, traction asynchronous motor.

Электротехника, 2025, №2, стр. 49-57

О применении методов статистического выборочного контроля показателей качества электроэнергии в системах промышленного электроснабжения

КУЛИКОВ А.Л., ИЛЮШИН П.В., СЕВОСТЬЯНОВ А.А.

Применение методов статистического выборочного контроля направлено на то, чтобы косвенным образом выявить изменения в работе электроприемников с целью принятия своевременных решений при отклонении показателей качества электроэнергии (ПКЭЭ) от нормативных значений. Показано, что методы статистического выборочного контроля ПКЭЭ на основе ограниченного числа наблюдений за параметрами напряжений на относительно коротком временном интервале, позволяют сформировать заключение о соблюдении требований к качеству электроэнергии на длительном интервале времени. Методы статистического выборочного контроля целесообразно применять в системах контроля качества электроэнергии промышленных предприятий с целью снижения требований к оборудованию и каналам связи, а также затрат на их создание.

Ключевые слова: система промышленного электроснабжения, показатели качества

электроэнергии, статистический выборочный контроль, система контроля качества электроэнергии, сверхнормативное отклонение.

The use of statistical sampling methods is aimed at indirectly identifying changes in the operation of electric receivers in order to make timely decisions when electricity quality indicators (EQI) deviate from standard values. It is shown that the methods of statistical sampling control of the EQI based on a limited number of observations of voltage parameters over a relatively short time interval allow us to form a conclusion on compliance with the requirements for the quality of electricity over a long time interval. It is advisable to use statistical sampling methods in power quality control systems of industrial enterprises in order to reduce the requirements for equipment and communication channels, as well as the costs of their creation.

Key words: industrial power supply system, power quality indicators, statistical sampling control, power quality control system, excess deviation.

Электротехника, 2025, №2, стр. 58-65

Расчетно-экспериментальное исследование напряжений возникновения ЧР в макетах твердой изоляции

БЫКОВА А.М., ЖУЙКОВ А.В., КОЛПАКОВА П.А., МАТВЕЕВ Д.А., ФРОЛОВ М.В.

На макетах твердой изоляции электрооборудования с дефектами в виде воздушной цилиндрической полости с помощью конечно-элементного численного моделирования показано, что использование понятия «емкость дефекта» некорректно, так как границы дефектной области не совпадают с эквипотенциальными линиями поля. Отсутствие учета реальной конфигурации электрического поля в макете приводит к недопустимо большим ошибкам расчета напряженности в дефекте и, как следствие, к ошибочным оценкам напряжения возникновения ЧР. Расчет напряжения возникновения ЧР по условию лавинно-стримерного перехода правильно воспроизводит влияние размера дефекта, что подтверждается результатами измерений. Расхождение расчетных и экспериментальных результатов достигает 12 %, что требует дополнительных исследований и уточнения расчетных соотношений.

Ключевые слова: твердая изоляция, дефект изоляции, макеты, частичные разряды,

напряжение возникновения частичных разрядов, метод конечных элементов, расчет, эксперимент.

Using finite element numerical modeling, it is shown on models of solid insulation of electrical equipment with defects in the form of an air cylindrical cavity that the use of the concept of «defect capacity» is incorrect, since the boundaries of the defective region do not coincide with the equipotential field lines. The lack of consideration of the actual configuration of the electric field in the layout leads to unacceptably large errors in calculating the strength in the defect and, as a result, to erroneous estimates of the occurrence of CR. The calculation of the CR occurrence voltage according to the avalanche-streamer transition condition correctly reproduces the effect of the defect size, which is confirmed by the measurement results. The discrepancy between the calculated and experimental results reaches 12%, which requires additional research and refinement of the calculated ratios.

Key words: solid insulation, insulation defect, layouts, partial discharges, partial discharge voltage, finite element method, calculation, experiment.

Электротехника, 2025, №2, стр. 66-74

Электродвигатели для тяжелых беспилотных летательных аппаратов

КАЧАНОВ И.М., ИВАНОВ Н.С., ШИРОКОВ А.А., ШИРОКОВА М.В., КОВАЛЕВ К.Л., ИНЬКОВ Ю.М.

В грузовых беспилотных летательных аппаратах широко применяются двигатели, работающие на ископаемом топливе, однако прогресс в развитии аккумуляторных батарей и топливных элементов может привести к тому, что использование электрических силовых установок в таких аппаратах станет более рациональным. В статье приведен обзор различных электродвигателей, применение которых в будущем будет перспективно в электрических силовых установках тяжелых грузовых беспилотных летательных аппаратов. Рассмотрены характеристики, конструктивные особенности и режимы работы таких двигателей, которые могут быть полезны разработчикам летательных аппаратов и электрических двигателей, для понимания их характеристик и перспектив их разработки.

Ключевые слова: грузовые беспилотные летательные аппараты, электрическая авиация,

авиационные электродвигатели, электрическая силовая установка, двигатели с радиальным магнитным потоком, двигатели с осевым магнитным потоком.

Fossil fuel engines are widely used in cargo unmanned aerial vehicles, however, progress in the development of batteries and fuel cells may lead to the fact that the use of electric power plants in such vehicles will become more rational. The article provides an overview of various electric motors, the use of which in the future will be promising in electric power plants of heavy cargo unmanned aerial vehicles. The characteristics, design features and operating modes of such engines are considered, which may be useful to developers of aircraft and electric motors to understand their characteristics and prospects for their development.

Key words: cargo unmanned aerial vehicles, electric aviation, aviation electric motors, electric propulsion system, radial magnetic flux engines, axial magnetic flux engines.

Электротехника, 2025, №2, стр. 75-86

Диагностические системы и комплексы для железных дорог

ОЗЕРОВ А.В., ИНЬКОВ Ю.М., КУРОПТЕВА А.П.

Мониторинг состояния железнодорожных активов является важной составляющей технического обслуживания, направленного на разработку и планирование действий, необходимых для предотвращения, выявления и устранения сбоев и отказов в контролируемых процессах и системах. В статье представлен обзор отечественных и зарубежных диагностических систем и комплексов для железнодорожной инфраструктуры. Отмечено, что развитие и внедрение систем диагностики должны идти по пути интеграции с системами обеспечения безопасности движения поездов.

Ключевые слова: железные дороги, диагностические системы и комплексы, системы мониторинга, оптоволоконные технологии, роботы, модифицированные поезда, искусственный интеллект, цифровой двойник.

Monitoring the condition of railway assets is an important component of maintenance aimed at developing and planning the actions necessary to prevent, identify and eliminate failures and failures in controlled processes and systems. The article presents an overview of domestic and foreign diagnostic systems and complexes for railway infrastructure. It was noted that the

development and implementation of diagnostic systems should follow the path of integration with train safety systems.

Key words: railways, diagnostic systems and complexes, monitoring systems, fiber-optic technologies, robots, modified trains, artificial intelligence, digital twin.

Электротехника, 2025, №2, стр. 87-89

Авторы номера

Электротехника, 2025, №2, стр. 90-90

Поправка к рис. 4 статьи **Тяпкина М.Г., Толстых О.А., Рассудова Л.Н., Тяпкина Г.М., Балкового А.П.** «Алгоритм обработки сигналов сегментированного датчика положения с плавным переключением между сегментами» («Электротехника» № 1/2025, с. 60-66)