

Электротехника, 2023, №5, стр. 1-1

Содержание

Электротехника, 2023, №5, стр. 2-2

70 лет ФМА-ЭМФ Новосибирского государственного технического университета НЭТИ

Электротехника, 2023, №5, стр. 3-8

Комплексное моделирование электропечного контура руднотермической печи

АЛИФЕРОВ А.И., БИКЕЕВ Р.А., ГОРЕВА Л.П., СЕРИКОВ В.А., БАДАШКОВА Н. К.

Рассмотрен метод численного моделирования с помощью программного обеспечения ANSYS, позволяющий импортировать трехмерные геометрические модели, созданные в САПР, и моделировать их электромагнитные поля для определения активного и индуктивного сопротивления. Показано применение метода для проектирования руднотермической круглой открытой печи.

Ключевые слова: руднотермическая печь, короткая сеть, индуктивное сопротивление, активное сопротивление, численное моделирование.

A numerical simulation method using the ANSYS software is considered, which allows importing three-dimensional geometric models created in CAD and modeling their electromagnetic fields to determine active and inductive resistance. The application of the method for the design of an ore-thermal round open furnace is shown.

Key words: ore-thermal furnace, short network, inductive resistance, active resistance, numerical simulation.

Электротехника, 2023, №5, стр. 9-13

Моделирование электромагнитных процессов в цилиндрической индукционной системе с постоянными магнитами

МОРЕВ А.Э., АЛИФЕРОВ А.И., МЕЛЕШКО А.А.

Разработана модель взаимосвязанных электромагнитно-гидродинамических процессов, протекающих в ванне расплава при перемешивании расплава металла в вертикальной цилиндрической ванне посредством вращающегося магнитного поля постоянных

магнитов. Предложенный подход к моделированию электромагнитных процессов в цилиндрической индукционной системе с постоянными магнитами позволил уменьшить время расчета сопряженной МГД задачи в 30–60 раз. Метод может быть рекомендован для решения аналогичных МГД задач и задач электромеханики.

Ключевые слова: индукционная плавка металлов, индукционные системы с постоянными магнитами, цилиндрическая ванна расплава, вращающееся магнитное поле, моделирование электромагнитно-гидродинамических процессов, векторный магнитный потенциал.

A model of interrelated electromagnetic-hydrodynamic processes occurring in a melt bath during mixing of a metal melt in a vertical cylindrical bath by means of a rotating magnetic field of permanent magnets has been developed. The proposed approach to modeling electromagnetic processes in a cylindrical induction system with permanent magnets allowed to reduce the calculation time of the combined MHD problem by 30-60 times. The method can be recommended for solving similar MHD problems and problems of electromechanics.

Key words: induction melting of metals, induction systems with permanent magnets, cylindrical melt bath, rotating magnetic field, modeling of electromagnetic-hydrodynamic processes, vector magnetic potential.

Электротехника, 2023, №5, стр. 13-17

О максимальной скорости движения ферромагнитного якоря соленоидного электромагнита

НЕЙМАН В.Ю.

Рассмотрена динамическая модель соленоидного электромагнита при свободном выбеге якоря за пределы полюсной системы в период бестоковой паузы. В модель включены взаимосвязанные уравнения, отражающие равновесие электрической и механической подсистем, учитывающие потоки рассеяния, нелинейность характеристики намагничивания и локальное насыщение стали. Решение уравнений получено в системе динамического моделирования MATLAB Simulink с использованием предварительного расчета пространственного распределения магнитного поля в активном объеме. Исходя из анализа динамики работы соленоидного электромагнита, методами численного моделирования получены зависимости максимальной скорости движения якоря при условии полного гашения магнитного поля в собственной системе индуктивностей. Установлено, что максимальная скорость движения ферромагнитного якоря не достигает

своего теоретического максимума, а только приближается к нему по мере увеличения магнитодвижущей силы катушки возбуждения и насыщения стали.

Ключевые слова: соленоидный электромагнит, магнитное поле, динамическая модель, численное моделирование, максимальная скорость якоря.

A dynamic model of a solenoid electromagnet with a free run-out of the armature outside the pole system during a shockless pause is considered. The model includes interrelated equations reflecting the equilibrium of the electrical and mechanical subsystems, taking into account the scattering fluxes, the nonlinearity of the magnetization characteristics and the local saturation of steel. The solution of the equations was obtained in the MATLAB Simulink dynamic modeling system using a preliminary calculation of the spatial distribution of the magnetic field in the active volume. Based on the analysis of the dynamics of the operation of a solenoid electromagnet, the dependences of the maximum speed of the armature movement are obtained by numerical modeling methods under the condition of complete quenching of the magnetic field in its own inductance system. It is established that the maximum velocity of the ferromagnetic armature does not reach its theoretical maximum, but only approaches it as the magnetomotive force of the excitation coil and the saturation of the steel increases.

Key words: solenoid electromagnet, magnetic field, dynamic model, numerical simulation, maximum armature velocity.

Электротехника, 2023, №5, стр. 18-22

Влияние сил трения на динамику работы двухмассовой модели электромагнитного вибратора

НЕЙМАН Л.А., НЕЙМАН В.Ю.

Рассмотрена динамическая модель двухмассовой колебательной системы электромагнитного вибратора в виде системы дифференциальных уравнений, отражающих электрическое и механическое равновесие динамической системы. В модели учтены нелинейность характеристик намагничивания стали, потоки рассеяния и различного рода потери энергии в магнитной и механической системах вибратора. На основе совместного решения уравнений установлена степень влияния процессов рассеяния энергии в колебательной системе, вызванных силами вязкого и сухого трения на динамику работы двухмассовой модели электромагнитного вибратора. Приведено описание конструкции вибратора с силовым возбуждением колебаний от электропривода,

получающим питание от промышленного источника напряжения по однополупериодной схеме выпрямления. Методами численного моделирования получены рабочие характеристики, отражающие динамику работы модели электромагнитного вибратора в условиях вязкого трения, упругих связей и сухого трения с учетом нелинейной зависимости от скорости.

Ключевые слова: электропривод, электромагнитный вибратор, двухмассовая система, динамические процессы, вязкое и сухое трение, математическая модель.

A dynamic model of a two-mass oscillatory system of an electromagnetic vibrator in the form of a system of differential equations reflecting the electrical and mechanical equilibrium of a dynamic system is considered. The model takes into account the nonlinearity of the magnetization characteristics of steel, scattering flows and various kinds of energy losses in the magnetic and mechanical systems of the vibrator. Based on the joint solution of the equations, the degree of influence of the processes of energy dissipation in the oscillatory system caused by the forces of viscous and dry friction on the dynamics of the two-mass model of an electromagnetic vibrator is established. The design of a vibrator with power excitation of vibrations from an electric drive, powered by an industrial voltage source according to a single-half-period rectification scheme, is described. Numerical simulation methods have been used to obtain performance characteristics reflecting the dynamics of the electromagnetic vibrator model under conditions of viscous friction, elastic bonds and dry friction, taking into account the nonlinear dependence on velocity.

Key words: electric drive, electromagnetic vibrator, two-mass system, dynamic processes, viscous and dry friction, mathematical model.

Электротехника, 2023, №5, стр. 23-28

Уточненная модель системы тягового электроснабжения постоянного тока для определения параметров систем накопления электроэнергии

КОТИН Д.А., ДОМАХИН Е.А., СИДОРОВ Г.С.

Рассмотрен расчет режимов работы систем тягового электроснабжения железных дорог, в частности систем электроснабжения постоянного тока. Методики, рекомендуемые для проведения расчетов, получены при определенных допущениях, упрощающих расчет, но являющимися причиной погрешностей. Для минимизации расхождений между

расчетными значениями и экспериментальными данными необходима разработка усовершенствованных имитационных моделей и программных комплексов на их основе. Представлен краткий анализ потенциальных применений усовершенствованных имитационных моделей, одним из которых является задача по определению параметров и характеристик системы накопления энергии. Изложен подход к разработке имитационной модели на основании схемы замещения участка сети, тяговых характеристик электроподвижного состава и др. элементов. На имитационной модели проведено исследование, показавшее, что применение системы накопления электроэнергии способно решать ряд задач, в частности, увеличить пропускную и провозную способности, повысить показатели энергоэффективности системы тягового электроснабжения. Приведена количественная оценка этих показателей.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения, система накопления электроэнергии, имитационная модель, обменная энергоемкость накопителя, энергоэффективность.

The calculation of operating modes of traction power supply systems for railways, in particular DC power supply systems, is considered. The methods recommended for calculations are obtained under certain assumptions that simplify the calculation, but are the cause of errors. To minimize discrepancies between calculated values and experimental data, it is necessary to develop improved simulation models and software systems based on them. A brief analysis of potential applications of advanced simulation models is presented, one of which is the task of determining the parameters and characteristics of the energy storage system. An approach to the development of a simulation model based on the replacement scheme of a network section, traction characteristics of an electric rolling stock, and other elements is described. A study was carried out on the simulation model, which showed that the use of an electric power storage system is able to solve a number of tasks, in particular, to increase the throughput and carrying capacity, to increase the energy efficiency of the traction power supply system. A quantitative assessment of these indicators is given.

Key words: traction power supply system, electric energy storage system, simulation model, exchange energy intensity of the storage, energy efficiency.

Об улучшении гармонического состава магнитодвижущей силы дробных зубцовых обмоток

БАБИЦКИЙ Д.Ю., ШЕВЧЕНКО А.Ф.

Дробные зубцовые обмотки синхронных электрических машин с магнитоэлектрическим возбуждением, у которых число пазов на полюс и фазу меньше единицы, кроме рабочей гармоники магнитодвижущей силы создают ряд гармоник, не участвующих в преобразовании энергии. Существуют различные способы улучшения гармонического состава магнитодвижущей силы таких обмоток. В качестве наиболее эффективного можно выделить применение двух одинаковых обмоток, сдвинутых друг относительно друг на некоторый угол. В статье проведен гармонический анализ магнитодвижущей силы, создаваемой дробной зубцовой обмоткой, состоящей из двух элементарных обмоток.

Ключевые слова: синхронные электрические машины с магнитоэлектрическим возбуждением, дробная зубцовая обмотка, магнитодвижущая сила, гармонический состав.

Fractional tooth windings of synchronous electric machines with magnetolectric excitation, in which the number of slots per pole and phase is less than one, in addition to the working harmonic of the magnetomotive force, create a number of harmonics that are not involved in energy conversion. There are various ways to improve the harmonic composition of the magnetomotive force of such windings. As the most effective, we can single out the use of two identical windings shifted relative to each other by a certain angle. The article presents a harmonic analysis of the magnetomotive force generated by a fractional tooth winding consisting of two elementary windings.

Key words: synchronous electric machines with magnetolectric excitation, fractional tooth winding, magnetomotive force, harmonic composition.

Характеристики электрических машин с возбуждением от постоянных магнитов с пазовой и беспазовой конструкцией статора

ГЕЙНРИХ Г.О., ШЕВЧЕНКО А.Ф.

В статье рассматриваются преимущества и недостатки синхронных двигателей с постоянными магнитами со статором беспазовой компоновки, а также приводится краткий анализ перспектив этого подкласса электрических машин. Показано, что

характеристики беспазовых машин могут быть улучшены путём уменьшения высоты ярма при соответствующем увеличении диаметра ротора и массы постоянных магнитов.

Ключевые слова: беспазовые электрические машины, синхронные электродвигатели, магнитоэлектрическое возбуждение, зубцовые обмотки.

The article discusses the advantages and disadvantages of synchronous motors with permanent magnets with a phase-free stator, and also provides a brief analysis of the prospects of this subclass of electric machines. It is shown that the characteristics of phase-free machines can be improved by reducing the height of the yoke with a corresponding increase in the diameter of the rotor and the mass of permanent magnets.

Key words: phase-free electric machines, synchronous electric motors, magnetoelectric excitation, tooth windings.

Электротехника, 2023, №5, стр. 38-42

Уточненная математическая модель электромагнитного сейсмоисточника

ПРИСТУП А.Г., ВЯЛЬЦЕВ Г.Б.

Рассмотрено построение математической модели импульсного электромагнитного сейсмического источника. Работа такого сейсмического источника представляет собой сложный процесс электромеханического преобразования энергии, в котором участвуют емкостной накопитель энергии, силовой электромагнит, инерционная масса и прилегающий грунт. При построении математической модели использована упруго-вязкая модель грунта. Сравнение полученных на модели характеристик с результатами испытаний макетного образца сейсмического источника показало достаточную для практического использования эффективность модели.

Ключевые слова: электромагнитный сейсмический источник, математическая модель, модель грунта, характеристики.

The construction of a mathematical model of a pulsed electromagnetic seismic source is considered. The operation of such a seismic source is a complex process of electromechanical energy conversion, in which an energy storage device, a power electromagnet, an inertial mass

and the adjacent soil participate. When constructing a mathematical model, an elastic-viscous model of the soil was used. A comparison of the characteristics obtained on the model with the test results of a mock-up sample of a seismic source showed the effectiveness of the model sufficient for practical use.

Key words: electromagnetic seismic source, mathematical model, soil model, characteristics.

Электротехника, 2023, №5, стр. 43-48

Обзор основных топологий многоуровневых инверторов

КАПУСТИН А.В., ЩУРОВ Н.И.

Представлен обзор существующих топологий многоуровневых инверторов с различным числом уровней, выделены отличительные черты, рассмотрены преимущества и недостатки различных топологий с учётом конструктивных особенностей. На примере элементарных преобразователей рассмотрены различные методы каскадирования для увеличения числа уровней. Приведены примеры использования и преимущества от внедрения. Выделены основные семейства топологий, выявлены ключевые особенности – преимущества и недостатки каждого семейства.

Ключевые слова: многоуровневый инвертор, семейства топологий многоуровневых инверторов, каскадирование многоуровневых инверторов, обзор.

An overview of the existing topologies of multilevel inverters with a different number of levels is presented, distinctive features are highlighted, advantages and disadvantages of various topologies are considered, taking into account design features. Using the example of elementary converters, various cascading methods are considered to increase the number of levels. Examples of use and benefits of implementation are given. The main families of topologies are highlighted, the key features – advantages and disadvantages of each family - are revealed.

Key words: multilevel inverter, families of topologies of multilevel inverters, cascading of multilevel inverters, overview.

Электротехника, 2023, №5, стр. 48-53

Совмещенная обмотка машины переменного тока, создающая встречно вращающиеся волны магнитодвижущей силы различной полярности

КУЛИКОВ В.П., ЧЕСТЮНИНА Т.В.

Рассматривается совмещенная обмотка машины переменного тока с одним комплектом выводов, которая благодаря полюсно-амплитудной модуляции магнитодвижущей силы в воздушном зазоре создает две гармоники различной полярности, вращающиеся встречно друг относительно друга. Изложены принципы построения такой обмотки, получены выражения для числа витков фазы, магнитодвижущей силы и соотношения для распределения проводников по пазам. Продемонстрированы пространственные картины встречно вращающихся гармоник магнитодвижущей силы с полярностями $p_1 = 5$ и $p_2 = 3$. Рассмотрена практическая реализация такой обмотки в синхронных двигателях, работающих в частотно-регулируемых электроприводах.

Ключевые слова: машина переменного тока, совмещенные обмотки, встречно вращающиеся гармоники МДС, распределение проводников.

The combined winding of an alternating current machine with one set of terminals is considered, which, due to the pole-amplitude modulation of the magnetomotive force in the air gap, creates two harmonics of different polarity rotating opposite to each other. The principles of constructing such a winding are described, expressions for the number of turns of the phase, the magnetomotive force and the ratio for the distribution of conductors along the grooves are obtained. Spatial patterns of counter-rotating harmonics of magnetomotive force with polarities and are demonstrated. The practical implementation of such a winding in synchronous motors operating in frequency-controlled electric drives is considered.

Key words: AC machine, combined windings, counter-rotating harmonics of MDS, distribution of conductors.

Электротехника, 2023, №5, стр. 53-58

Исследование параметров тяговой сети электровоза при коротком замыкании

КУЗНЕЦОВ С.М., МАЛОЗЁМОВ Б.В., ЛАТЫШЕВ Р.Н., АБРАМОВ Е.Ю., БОРЗЕНКОВ А.Н.

В устройствах электроснабжения железных дорог, электрифицированных на постоянном токе, метрополитенах и городском транспорте для управления, защиты и диагностики тяговой сети устанавливают цифровые терминалы. Настройка токовых уставок по результатам аналитического расчета не обеспечивает надёжной защиты фидеров. В ряде

публикаций предложено корректировать результаты аналитического расчёта с помощью математического моделирования и затем выполнять последующую корректировку по результатам мониторинга параметров электровозов и тяговой сети. Развитие цифровых средств автоматизации позволило создать системы защит, интегрально реагирующих на параметры переходных процессов в тяговой сети. В результате исследований, проведенных на Западносибирской железной дороге, предложена методика выбора типа защит, зон их действия и уставок на основе мониторинга режимов работы тяговой сети и математического моделирования, что позволило улучшить параметры комплекта защиты в целом и повысить ее чувствительность.

Ключевые слова: тяговая сеть, короткое замыкание, цифровые терминалы, моделирование, мониторинг, удаленный доступ.

Digital terminals are installed in the power supply devices of railways electrified with constant current, subways and urban transport to control, protect and diagnose the traction network. Setting current settings based on the results of analytical calculation does not provide reliable protection of feeders. In a number of publications, it is proposed to correct the results of analytical calculation using mathematical modeling and then perform subsequent adjustments based on the results of monitoring the parameters of electric locomotives and traction network. The development of digital automation tools has made it possible to create protection systems that integrally respond to the parameters of transients in the traction network. As a result of the research carried out on the West Siberian Railway, a method for selecting the type of protections, their zones of action and settings based on monitoring the operating modes of the traction network and mathematical modeling was proposed, which made it possible to improve the parameters of the protection kit as a whole and increase its sensitivity.

Key words: traction network, short circuit, digital terminals, simulation, monitoring, remote access.

Электротехника, 2023, №5, стр. 59-64

О коррекции формы выходного напряжения двух- и трехуровневых однофазных автономных инверторов без ШИМ

МЯТЕЖ С.В., ЛИСИЦЫН П.С.

Рассмотрен способ коррекции формы выходного напряжения однофазных автономных инверторов, заключающийся в замене широтно-импульсной модуляции на амплитудную

модуляцию путем применения многообмоточных трансформаторов с позиции теории структурного синтеза статических преобразователей. Оценка эффективности такого способа выполнена на основе вычисления коэффициентов гармоник, которые минимизируются в ходе решения оптимизационной задачи.

Ключевые слова: однофазный инвертор, многообмоточный трансформатор, ШИМ, коэффициент гармоник напряжения.

A method for correcting the output voltage shape of single-phase autonomous inverters is considered, which consists in replacing pulse-width modulation with amplitude modulation by using multi-winding transformers from the standpoint of the theory of structural synthesis of static converters. The evaluation of the effectiveness of this method is based on the calculation of harmonic coefficients, which are minimized during the solution of the optimization problem.

Key words: single-phase inverter, multi-winding transformer, PWM, voltage harmonic coefficient.

Электротехника, 2023, №5, стр. 64-70

Магнитный редуктор с функцией тихоходного вентильного двигателя

АФАНАСЬЕВ А.А.

Традиционная конструкция магнитного редуктора с постоянными магнитами на статоре и роторе при наличии на статоре ещё и трёхфазной обмотки с таким же числом пар полюсов, как и у магнитов внутреннего (скоростного) ротора, приобретает свойства регулируемого вентильного двигателя, имеющего встроенный магнитный редуктор (ВДР). Выполнен электромагнитный расчёт такого редуктора методом разделения переменных Фурье, позволивший определить распределения магнитной индукции в двух воздушных зазорах, внутри модулятора (тихоходного ротора), а также значения электромагнитных моментов роторов. Установлено, что основной вклад в уровень электромагнитного момента быстроходного ротора при отсутствии у него выходного вала вносит обмотка статора. Постоянные магниты статора в этой конструкции ВДР обеспечивают существенное увеличение электромагнитного момента тихоходного ротора.

Встроенный магнитный редуктор, как составная часть вентильного двигателя, не будет иметь предельных (опрокидывающих) моментов благодаря преобразователю частоты обмотки статора. При отсутствии тока статора и наличии двух выходных валов редуктор

может выполнять функции магнитного редуктора, обладающего опрокидывающими моментами.

Ключевые слова: магнитный редуктор, обмотка и многополюсные магниты статора, малополюсные магниты быстроходного ротора, модулятор-тихоходный ротор, электромагнитный расчёт, метод разделения переменных.

The traditional design of a magnetic gearbox with permanent magnets on the stator and rotor, if there is also a three-phase winding on the stator with the same number of pole pairs as the magnets of the internal (high-speed) rotor, acquires the properties of an adjustable valve motor with a built-in magnetic reducer. An electromagnetic calculation of such a reducer was performed by the method of separation of Fourier variables, which allowed determining the distribution of magnetic induction in two air gaps inside the modulator (slow-speed rotor), as well as the values of the electromagnetic moments of the rotors. It is established that the main contribution to the level of electromagnetic torque of a high-speed rotor in the absence of its output shaft is made by the stator winding. The permanent stator magnets in this built-in magnetic reducer design provide a significant increase in the electromagnetic torque of the slow-moving rotor. The built-in magnetic reducer, as an integral part of the valve motor, will not have limiting (overturning) moments due to the frequency converter of the stator winding. In the absence of a stator current and the presence of two output shafts, the gearbox can perform the functions of a magnetic gearbox with tipping moments.

Key words: magnetic reducer, winding and multi-pole stator magnets, low-pole magnets of a high-speed rotor, modulator-low-speed rotor, electromagnetic calculation, method of separation of variables.

Электротехника, 2023, №5, стр. 71-79

Увеличение реактивной нагрузки блока «генератор–трансформатор» под воздействием квазипостоянных токов

ВАХНИНА В.В., ГОРОХОВ В.В., КУВШИНОВ А.А., СЕЛЕМИР В.Д., ТРЕНЬКИН А.А., ЧЕРНЕНКО А.Н.

Определены параметры тока намагничивания блочного трансформатора при насыщении магнитной системы под воздействием квазипостоянного тока с учетом оснащения синхронного генератора автоматическим регулятором возбуждения и параметров

примыкающей электроэнергетической системы. Показано, что основная гармоника тока намагничивания, пропорциональная значению квазипостоянного тока, ответственна за многократное увеличение мощности намагничивания блочного трансформатора и аддитивна по отношению к реактивной составляющей статорного тока синхронного генератора. Отмечено, что увеличение реактивной нагрузки синхронного генератора является результатом действия автоматического регулятора возбуждения по поддержанию неизменного напряжения на генераторных шинах, поскольку мощность намагничивания блочного трансформатора компенсируется увеличением генерации реактивной мощности синхронного генератора путем увеличения тока возбуждения. Установлены области безопасных значений квазипостоянного тока, вызывающего незначительное увеличение мощности намагничивания блочного трансформатора, которое может быть компенсировано увеличением тока возбуждения без снижения активной нагрузки синхронного генератора, а также критических значений квазипостоянных токов, вызывающих такое увеличение мощности намагничивания, для компенсации которого необходимы снижение уставки автоматического регулятора возбуждения по напряжению и/или активной нагрузки синхронного генератора.

Ключевые слова: синхронный генератор, блочный трансформатор, мощность намагничивания, квазипостоянный ток, реактивная мощность.

The parameters of the magnetization current of a block transformer during saturation of the magnetic system under the influence of a quasi-constant current are determined, taking into account the equipment of the synchronous generator with an automatic excitation regulator and the parameters of the adjacent electric power system. It is shown that the main harmonic of the magnetization current, proportional to the value of the quasi-constant current, is responsible for a multiple increase in the magnetization power of the block transformer and is additive with respect to the reactive component of the stator current of the synchronous generator. It is noted that the increase in the reactive load of the synchronous generator is the result of the action of the automatic excitation regulator to maintain a constant voltage on the generator buses, since the magnetization power of the block transformer is compensated by an increase in the generation of the reactive power of the synchronous generator by increasing the excitation current. The areas of safe values of quasi-constant current causing a slight increase in the magnetization power of the block transformer, which can be compensated by an increase in the excitation current without reducing the active load of the synchronous generator, as well as critical values of quasi-constant currents causing such an increase in the magnetization power, which requires a decrease in the

setpoint of the automatic voltage excitation regulator and/or the active load of the synchronous generator to compensate for.

Key words: synchronous generator, block transformer, magnetization power, quasi-constant current, reactive power.

Электротехника, 2023, №5, стр. 80-85

О формулах для индуктивности прямолинейного отрезка круглого проводника
ОСТРЕЙКО В.Н.

Предложена уточнённая формула для индуктивности конечного отрезка прямолинейного круглого проводника, основанная на решении дифференциального уравнения для векторного магнитного потенциала в цилиндрических координатах, и содержащая модифицированные функции Бесселя второго рода. Формула справедлива при незначительной индукции магнитного поля в областях торцевых поверхностей проводника. Для оценки условий применимости предложенной формулы приведены результаты соответствующих расчётов магнитной индукции.

Ключевые слова: внешняя и внутренняя индуктивности проводника, дифференциальное уравнение векторного магнитного потенциала, модифицированные функции Бесселя второго рода.

A refined formula for the inductance of a finite segment of a rectilinear circular conductor is proposed, based on the solution of a differential equation for a vector magnetic potential in cylindrical coordinates, and containing modified Bessel functions of the second kind. The formula is valid for insignificant induction of the magnetic field in the areas of the end surfaces of the conductor. To assess the conditions of applicability of the proposed formula, the results of the corresponding calculations of magnetic induction are given.

Key words: external and internal inductance of the conductor, differential equation of the vector magnetic potential, modified Bessel functions of the second kind.

Электротехника, 2023, №5, стр. 86-87

Авторы номера

Электротехника, 2023, №5, стр. 88-89

90 лет ЭМФ МЭИ

Электротехника, 2023, №5, стр. 90-90

Поздравление ЭМФ МЭИ