

Электротехника, 2022, №5, стр. 1-1

Содержание

Электротехника, 2022, №5, стр. 2-2

Георгий Павлович Лыщинский

(К 100-летию со дня рождения)

Электротехника, 2022, №5, стр. 3-8

Методы расчета импеданса пакета прямоугольных шин руднотермической печи

ГОРЕВА Л.П., СЕРИКОВ В.А.

Рассмотрены существующие методы расчета импеданса пакета прямоугольных шин – метод обобщающих выражений, позволяющий рассчитывать только индуктивное сопротивление шинопакетов с регулярной перешихтовкой шин; метод каскадных схем, позволяющий определять импеданс пакетов прямоугольных шин, расположенных в ряд и метод численного моделирования электромагнитного поля проводников с током.

Сравнение показало, что метод каскадных схем дает результаты, близкие к результатам численного моделирования в пакете ANSYS, которое учитывает все эффекты, возникающие при протекании переменного тока в системе проводников.

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

The article considers the existing methods for calculating the impedance of a rectangular busbar package – the method of generalizing expressions, which only makes it possible to calculate the inductive resistance of busbar packs with regular interleaving of busbars; the method of cascade circuits, which makes it possible to determine the impedance of packs of rectangular busbars arranged in a row and method of numerical simulation of the electromagnetic field of conductors with current. Comparison showed that the method of cascade circuits gives results that are close to those of numerical simulation in ANSYS software, which takes into account all the effects that occur when an alternating current flows in a system of conductors.

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

Электротехника, 2022, №5, стр. 8-12

К выбору основных геометрических размеров электромагнитного привода со сквозным осевым каналом

НЕЙМАН В.Ю.

Рассмотрена задача определения оптимальных отношений между размерами магнитопровода втяжного электромагнита со сквозным осевым каналом, используемого в приводе ударных машин. Методами конечно-элементного моделирования магнитного поля установлено влияние размеров сквозного осевого канала на существующий диапазон экстремальных соотношений основных размеров магнитопровода, исходя из экономии активных материалов. За основу экономичности принят критерий добротности, равный отношению массы занятого объема активных материалов к полезной механической работе втяжного электромагнита. Установлена зависимость между основными размерами магнитопровода и размерами сквозного осевого канала.

Ключевые слова: электромагнитный привод, втяжной электромагнит, сквозной канал, показатель экономичности, масса активных материалов, полезная механическая работа, соотношения геометрических размеров, моделирование магнитного поля.

The problem of determining the optimal ratios between the magneto-wire dimensions of a retractable electromagnet with a through axial channel used in the drive of impact machines is considered. The influence of the sizes of the through axial channel on the existing range of extreme ratios of the main dimensions of the magnetic circuit, based on the economy of active materials, has been established by the methods of finite element modeling of the magnetic field. The criterion of Q-factor, equal to the ratio of the mass of the occupied volume of active materials to the useful mechanical work of the retracted electromagnet, is adopted as the basis of economy. The dependence between the main dimensions of the magnetic core and the dimensions of the through axial channel is established.

Key words: electromagnetic core, plunger electromagnet, open-ended channel, efficiency factor, active materials mass, useful mechanical work, ratios of dimensions, magnetic field simulation.

Электротехника, 2022, №5, стр. 12-17

Расчет вибрационных характеристик модели двухмассовой технологической установки с электромагнитным возбуждением

НЕЙМАН Л.А., НЕЙМАН В.Ю., МАРКОВ А.В., ЛАППИ С.Ю.

Рассмотрен расчет динамических процессов двухмассовой технологической вибрационной установки с электромагнитным возбуждением. Основные результаты моделирования получены на основе совместного решения дифференциальных уравнений электрического и механического равновесия электромеханической системы технологической установки, отражающие ее динамическое состояние в переходных и установившихся режимах работы. Результаты моделирования получены в среде MATLAB Simulink методами структурного моделирования. Рассмотрен пример динамического расчета вибрационных характеристик созданной модели. По результатам имитационного моделирования получены временные диаграммы, отражающие динамические характеристики модели с двумя степенями свободы. Представлены рабочие характеристики модели технологической установки, подтвержденные экспериментальными данными.

Ключевые слова: двухмассовая технологическая установка, электромагнитное возбуждение, электромагнитный привод, динамическая модель, динамические процессы, вибрационные характеристики.

The calculation of dynamic processes in the two-mass technological vibration unit with electromagnetic excitation is considered. The main simulation results are based on the joint solution of the differential equations of electrical and mechanical balance of the electromechanical system of the technological unit. They reflect the electromechanical system dynamical state in transient and steady-state operation modes. The simulation results are obtained in MATLAB Simulink by the structured modeling method. The example of the dynamic calculation of the vibration characteristics is considered. The simulation gives time diagrams describing dynamic characteristics of the model with two degrees of freedom. The technological unit model operation characteristics approved by experimental data are presented.

Key words: two-mass technological unit, electromagnetic excitation, electromagnetic drive, dynamic model, dynamic processes, vibration characteristics.

Электротехника, 2022, №5, стр. 18-23

Безударный перевод нагрузки с основной сети на резервную с применением быстродействующего автоматического ввода резерва

ЧЕРВОНЕНКО А.П., КОТИН Д.А., ДОМАХИН Е.А.

Рассмотрен подход к построению системы управления быстродействующим автоматическим вводом резерва (БАВР). Система выполняет важные алгоритмические задачи – перевод нагрузки на резервную сеть с достаточной степенью быстродействия, учет согласования фаз затухающей ЭДС двигателя и напряжения резервного источника, минимизация возникающего броска тока в момент перевода нагрузки. Средством для принятия решения системой управления БАВР о включении в разрешенный момент времени служит модель выбега асинхронного двигателя. Построение имитационной модели системы БАВР, снятие характеристик и переходных процессов осуществлено в среде MATLAB. Опыты, связанные с возникновением аварийной ситуации – отключением сети общего назначения, проведены с учетом следующих факторов: уровень провалов питающего напряжения, время возникновения аварийной ситуации, диапазон допустимого рассогласования фаз, время срабатывания коммутирующих устройств. Результатом является устранение ряда недостатков существующих АВР, главным из которых является несогласованность моментов включения фазы напряжения затухающей ЭДС двигателя и фазы напряжения сети, к которой осуществляется подключение. Результаты моделирования показали достаточную точность разработанной системы управления.

Ключевые слова: быстродействующий автоматический ввод резерва, безударное переключение нагрузки, провалы напряжения.

An approach to the construction of a control system for high-speed automatic reserve input (BAWR) is considered. The system performs important algorithmic tasks – transferring loads to the backup network with a sufficient degree of speed, taking into account the phase matching of the damped EMF of the motor and the voltage of the backup source, minimizing the resulting current surge at the time of load transfer. The asynchronous motor run-out model serves as a means for making a decision by the BAVR control system about switching on at a permitted

time. The construction of a simulation model of the BAVR system, the removal of characteristics and transients was carried out in the MATLAB environment. Experiments related to the occurrence of an emergency - disconnection of a general-purpose network were carried out taking into account the following factors: the level of supply voltage failures, the time of occurrence of an emergency, the range of permissible phase mismatch, the response time of switching devices. The result is the elimination of a number of shortcomings of the existing AVR, the main of which is the inconsistency of the switching moments of the voltage phase of the damped EMF of the motor and the voltage phase of the network to which the connection is being made. The simulation results showed sufficient accuracy of the developed control system.

Key words: high-speed automatic reserve input, shockless load switching, voltage dips.

Электротехника, 2022, №5, стр. 24-29

Сигнально-адаптивная система управления асинхронным электроприводом

КУЧЕР Е.С., БЛИНОВ А.А., СИДОРОВ Г.С.

Рассмотрена методика структурного и параметрического синтеза многоконтурной системы векторного управления асинхронным электроприводом, которая обеспечивает сигнальную адаптацию по оценке приведенных возмущений. Метод сигнально-адаптивной обратной модели позволил включить в структуру контура регулирования скорости асинхронного двигателя алгоритмы сигнальной адаптации. Предложенная сигнально-адаптивная система векторного управления асинхронным двигателем позволяет учесть истинные начальные и текущие состояния объекта, а также обеспечивает подавление сигнальных внешних возмущений.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, система векторного управления, сигнальная адаптация, наблюдатель возмущений, дифференцирующий фильтр.

The method of structural and parametric synthesis of a multi-circuit vector control system of an asynchronous electric drive, which provides signal adaptation for the evaluation of the above disturbances, is considered. The signal-adaptive inverse model method made it possible to include signal adaptation algorithms in the structure of the asynchronous motor speed control circuit. The proposed signal-adaptive vector control system of an asynchronous motor allows taking into account the true initial and current states of the object, and also provides suppression of signal external disturbances.

Key words: induction motor drive, vector control, signal adaptation, perturbation observer, differentiating filter.

Электротехника, 2022, №5, стр. 29-34

Влияние скручивания вала на уменьшение электромагнитного момента двигателя погружного нефтедобывающего насоса

ВЯЛЬЦЕВ Г.Б., НИКУЛИН Р.О., ЧУГУНОВ В.В., ЧЕСТЮНИНА Т.В.

Особенностью двигателей погружных нефтедобывающих насосов является большой осевой размер и следовательно большая длина вала. Поскольку на большей длине скручивание вала проявляется сильнее, это может негативно сказаться на величине электромагнитного момента. В статье рассматривается влияние скручивания вала двигателя погружного нефтедобывающего насоса на уменьшение электромагнитного момента, рассматриваются различные допущения, при которых этот эффект проявляется по-разному, а также описывается математическая модель, позволяющая выполнять подобные расчеты.

Ключевые слова: машина с постоянными магнитами, скручивание вала, математическая модель, погружной двигатель.

A feature of submersible oil production pump motors is the large axial dimension and consequently large shaft length, and since the torsion of the shaft is stronger at longer length, it can negatively affect the value of electromagnetic torque. In this paper consider influence of torsion of a submersible oil pump motor shaft on reduction of electromagnetic moment, consider different assumptions at which this effect is manifested differently, and describe mathematical model allowing to make such calculations.

Key words: permanent magnet electrical machine, shaft torsion, mathematical model, submersible motor.

Электротехника, 2022, №5, стр. 34-39

Влияние температуры постоянных магнитов и конструкции магнитной системы ротора на внешнюю характеристику генератора с магнитоэлектрическим

возбуждением, работающего на автономную нагрузку

БАБИЦКИЙ Д.Ю., ТОПОРКОВ Д.М.

Невозможность регулирования потока возбуждения генераторов с постоянными магнитами является причиной, по которой к внешней характеристике таких машин предъявляются особые требования при работе на автономную нагрузку. В статье рассмотрено влияние конструкции магнитной системы ротора и температуры постоянных магнитов на внешнюю характеристику. Приведена методика расчета внешней характеристики с использованием векторной диаграммы. Даны рекомендации по проектированию генераторов с магнитоэлектрическим возбуждением.

Ключевые слова: генератор с постоянными магнитами, магнитоэлектрическое возбуждение, внешняя характеристика.

The impossibility to regulate the excitation flux of permanent magnet generators is the reason of applying particular requirements to the external characteristic of these machines when working on stand-alone load. This paper considers the effects of permanent magnets' temperature and rotor's magnet system design on the external characteristic. The external characteristic calculation method using a vector diagram is presented. The design recommendations for permanent magnet generators is given.

Key words: permanent magnet generator, permanent magnet excitation, external characteristic.

Электротехника, 2022, №5, стр. 40-45

Двенадцатизонная обмотка машины переменного тока

ШАНШУРОВ Г.А., ЧЕСТЮНИНА Т.В., ВЯЛЬЦЕВ Г.Б.

Предложен принцип построения трехфазной, симметричной двенадцатизонной обмотки переменного тока. Приведены критерии качества обмоток, на основании которых можно выполнить сравнение различных типов обмоток по критерию выполнения ими основных функций. При помощи матричного метода исследования проведено сравнение двенадцатизонной обмотки с наиболее распространёнными шестизонными обмотками и полюсопереключаемыми обмотками двухскоростных двигателей по схеме Даландера.

Описаны достоинства двенадцатизонной обмотки, приведены рекомендации по возможному её применению.

Ключевые слова: машина переменного тока, двенадцатизонная обмотка, шестизонная обмотка, полюсопереключаемая обмотка, матричный метод исследования.

The principle of constructing a three-phase, symmetrical twelve-zone alternating current winding is proposed. The quality criteria of the windings are given, on the basis of which it is possible to compare different types of windings according to the criterion of their performance of basic functions. Using the matrix method of research, a comparison of the twelve-zone winding with the most common six-zone windings and pole-switched windings of two-speed motors according to the Dalander scheme was carried out. The advantages of the twelve-zone winding are described, recommendations for its possible use are given.

Key words: alternating current machine, twelve-zone winding, six-zone winding, pole-switchable winding, matrix research method.

Электротехника, 2022, №5, стр. 46-50

Моделирование межвиткового короткого замыкания в обмотке ротора асинхронного двигателя

ЛАВРЕНОВ Е.О., ВИЛЬБЕРГЕР М.Е., ТЕМЛЯКОВА З.С., МОРОЗОВ П.В., ТЕМЛЯКОВ А.А.

Статья посвящена расчету и моделированию асинхронных двигателей при межвитковом коротком замыкании в цепи ротора. Представлена краткая характеристика аналитических и численных методов расчета таких режимов. Отмечена несовместимость аналитических методов расчета несимметричных режимов с задачами учета нелинейных процессов в электрических машинах. Обоснован выбор в пользу применения трехфазной естественной системы координат применительно к конкретной задаче расчета несимметричного режима работы в совокупности с учетом нелинейных свойств стали магнитопровода.

Представлена модифицированная относительно классической записи математическая модель асинхронного двигателя в трехфазной естественной системе координат для расчета токов и электромагнитного момента в условиях межвиткового короткого замыкания в фазе обмотки ротора, приведены результаты численного моделирования такого режима. Выполнен анализ отличительных особенностей выбранного режима по сравнению с симметричным режимом работы и его влияния на поведение электродвигателей при эксплуатации. Выполнена оценка минимального процентного

соотношения короткозамкнутых витков, при котором электромагнитный момент двигателя в области провала оказывается меньше номинального момента нагрузки.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, электрическая несимметрия, межвитковое короткое замыкание, математическая модель, численное моделирование, насыщение стали, электромагнитный момент, трехфазная система координат.

The article is devoted to the calculation and modeling of asynchronous motors with an inter-turn short circuit in the rotor circuit. A brief description of analytical and numerical methods for calculating such modes is presented. The incompatibility of analytical methods for calculating asymmetric modes with the problems of accounting for nonlinear processes in electric machines is noted. The choice in favor of the use of a three-phase natural coordinate system is justified in relation to the specific task of calculating the asymmetric mode of operation in combination with the nonlinear properties of the magnetic core steel. A modified mathematical model of an asynchronous motor in a three-phase natural coordinate system for calculating currents and electromagnetic torque under conditions of an inter-turn short circuit in the phase of the rotor winding is presented, the results of numerical simulation of such a mode are presented. The analysis of the distinctive features of the selected mode in comparison with the symmetrical mode of operation and its influence on the behavior of electric motors during operation is carried out. The estimation of the minimum percentage of short-circuited turns, in which the electromagnetic torque of the motor in the area of failure is less than the nominal load torque, is performed.

Key words: induction motor, electrical asymmetry, turn-to-turn short circuit, mathematical model, numerical simulation, steel saturation, electromagnetic moment, three-phase coordinate system.

Электротехника, 2022, №5, стр. 51-56

Имитационная модель тяговой сети электрифицированного транспорта

ЯРОСЛАВЦЕВ М.В., СПИРИДОНОВ Е.А.

Предложена имитационная модель тяговой сети, отличающаяся учетом нелинейных свойств тяговых подстанций и тяговых преобразователей электроподвижного состава, влияния напряжения на токоприемнике на его тяговые характеристики, обмена энергией между секциями тяговой сети через шины тяговых подстанций, и способом

моделирования дорожного движения. Выполнена верификация модели по распределению фидерных токов тяговых подстанций, записанных специализированным регистратором. С помощью предложенной модели исследовано влияние напряжения холостого хода тяговых подстанций на уровень потерь энергии в тяговой сети трамвая и метрополитена, получены распределения токов фидеров тяговых подстанций, а также исследованы факторы, влияющие на эффективность рекуперативного торможения на городском электрическом транспорте. Модель может быть использована для определения пропускной способности линий, расчета токов короткого замыкания, а также при разработке энергосберегающих мероприятий по сокращению потерь энергии в тяговой сети, передачи и накопления энергии электрических торможений и других задач.

Ключевые слова: электрический транспорт, тяговая сеть, имитационное моделирование, система электроснабжения.

A simulation model of a traction network is proposed, which is characterized by taking into account the nonlinear properties of traction substations and traction converters of electric rolling stock, taking into account the influence of voltage at the pantograph on the traction characteristics of a train, taking into account the energy exchange between sections of the traction network through the tires of traction substations, the possibility of using experimental records of the rolling stock driving modes. The model was verified using the time distribution of the feeder currents of traction substations measured with special recorder. Using the proposed model, the study of the influence of the open circuit voltage of traction substations on the amount of energy losses in the traction network of tramway and metro was performed, distributions of feeder currents of traction substations were obtained, and a study of factors influencing the efficiency of recuperative braking in urban electric transport was carried out. The developed model can be used to find the capacity of lines, short circuit currents, as well as to develop energy-saving measures reducing energy losses in the traction network, by transferring and accumulating energy of electric braking and other tasks.

Key words: electric transport, traction network, simulation model, power supply system.

Электротехника, 2022, №5, стр. 57-61

Анализ функционирования защит тяговой сети постоянного тока

КУЗНЕЦОВ С.М., АБРАМОВ Е.Ю., ЛАТЫШЕВ Р.Н.

Проблема надёжного функционирования защит фидеров тяговой сети постоянного тока возникла с момента начала развития электрического транспорта, роста мощности электроподвижного состава и скоростей движения. Для её решения предложены сотни устройств, направленных на повышение надёжности функционирования, но полностью задача до настоящего времени не решена, а многие предложения так и остались нереализованными. Причина в том, что все типы защит реагировали на один параметр: ток, напряжение, сопротивление, нагрев токоведущих частей и другие. Создание цифровых устройств позволило создать комплекты защит, реагирующих на несколько признаков переходного процесса в тяговой сети, а их одновременное возникновение может характеризовать аварийный режим и выдать команду на отключение линии (фидера). Опыт эксплуатации комплектов в составе классической токово-импульсной защиты и многоканального цифрового терминала выявил сложности в выборе типов защит цифрового терминала, определении зоны их действия и уставок, а также согласовании с токово-импульсной защитой. В результате исследований предложен алгоритм настройки уставок защит терминала и токово-импульсной защиты, определения зон их действия на основе математического моделирования и использования мониторинга режимов работы тяговой сети, что позволило значительно повысить надёжность функционирования комплекта защиты.

Ключевые слова: тяговая сеть постоянного тока, цифровой терминал, токово-импульсная защита, надёжность функционирования, мониторинг.

The problem of reliable functioning of the protection of feeders of the DC traction network has arisen since the beginning of the development of electric transport, the growth of the power of electric rolling stock and traffic speeds. Hundreds of devices aimed at improving the reliability of functioning have been proposed to solve it, but the problem has not been completely solved to date, and many proposals have remained unrealized. The reason is that all types of protections reacted to one parameter: current, voltage, resistance, heating of current-carrying parts and others. The creation of digital devices made it possible to create sets of protections that respond to several signs of a transient process in the traction network, and their simultaneous occurrence can characterize the emergency mode and issue a command to disconnect the line (feeder). The experience of operating complexes as part of classical current-pulse protection and multi-channel digital terminal has revealed difficulties in choosing the types of digital terminal protections, determining their zone of operation and settings, as well as coordination with current-pulse protection. As a result of the research, an algorithm has been proposed for setting the terminal

protection settings and current-pulse protection, determining the zones of their action based on mathematical modeling and using monitoring of the traction network operating modes, which significantly increased the reliability of the protection kit.

Key words: DC traction network, digital terminal, current-pulse protection, reliability of operation, monitoring.

Электротехника, 2022, №5, стр. 62-63

Авторы номера

Электротехника, 2022, №5, стр. 64-64

Реклама

Электротехника, 2022, №5, 3-я стр. обложки

Юрий Моисеевич Иньков

(К 85-летию со дня рождения)