

Содержание

Электротехника, 2024, №7, стр. 2-6

Последовательный колебательный контур с вихревыми потерями

КЛАДУХИН В.В., ХРАМЦОВ С.П.

Предложены электрическая схема и математическая модель последовательного колебательного контура с учетом динамических потерь энергии от индуцируемых вихревых токов. Определена связь параметров модели контура с зависимостью напряжения на его емкостном накопителе от времени. Предложен метод идентификации параметров модели с использованием нелинейной функции регрессии и теоремы Виета. Приведена иллюстрация метода на примере идентификации параметров колебательного контура с индуктивностью, использующей разомкнутый магнитопровод. Предлагаемый подход позволяет повысить точность описания физических процессов, протекающих в колебательных контурах с вихревыми потерями, оценить уровень этих потерь и соотношение динамических и статических потерь.

Ключевые слова: колебательный контур, динамические потери, вихревые токи, нелинейная функция регрессии, идентификация параметров.

An electrical circuit and a mathematical model of a sequential oscillatory circuit are proposed, taking into account dynamic energy losses from induced eddy currents. The relationship of the parameters of the contour model with the dependence of the voltage on its capacitive storage device on time is determined. A method for identifying model parameters using a nonlinear regression function and Vieta's theorem is proposed. An illustration of the method is given by the example of identifying the parameters of an oscillatory circuit with an inductance using an open magnetic circuit. The proposed approach makes it possible to improve the accuracy of the description of physical processes occurring in oscillatory circuits with vortex losses, to assess the level of these losses and the ratio of dynamic and static losses.

Key words: oscillatory circuit, dynamic losses, eddy currents, nonlinear regression function, parameter identification.

Математическая модель мощного вентильного двигателя в трёхмерном формате в прямоугольных координатах

АФАНАСЬЕВ А.А.

Рассмотрены решения уравнения Лапласа для прямоугольного параллелепипеда в формах первой и второй граничных задач методом разделения переменных Фурье, на базе которых предлагается аналитический расчёт электрических машин, в которых ярмовые, зубцовые слои и воздушный зазор активной области представляются набором прямоугольных параллелепипедов с шириной, равной полюсному делению.

Сопутствующие постоянные Фурье (две для элементарного параллелепипеда) определяются из условий магнитного поля на границах параллелепипедов: магнитные потенциалы и магнитные индукции одинаковы, если на границах находятся магнитные листы (МДС обмоток), имеет место скачок магнитного потенциала, равный току магнитного листа. Предложенным методом в прямоугольных координатах выполнен аналитический расчёт вентильного двигателя мощностью 150 кВт, постоянные магниты которого расположены в закрытых каналах роторного сердечника.

Ключевые слова: вентильный двигатель, электромагнитный момент, магнитная индукция, математическая модель, уравнение Лапласа, постоянные Фурье.

The solutions of the Laplace equation for a rectangular parallelepiped in the forms of the first and second boundary problems are considered by the method of separation of Fourier variables, on the basis of which an analytical calculation of electric machines is proposed, in which the yoke, tooth layers and the air gap of the active region are represented by a set of rectangular parallelepipeds with a width equal to the pole division. The accompanying Fourier constants (two for an elementary parallelepiped) are determined from the conditions of the magnetic field at the boundaries of the parallelepipeds: magnetic potentials and magnetic inductions are the same if magnetic sheets (MMF of windings) are located at the boundaries, there is a jump in the magnetic potential equal to the current of the magnetic sheet. By the proposed method, an analytical calculation of a 150 kW valve motor with permanent magnets located in closed channels of a rotary core is performed in rectangular coordinates.

Key words: valve motor, electromagnetic torque, magnetic induction, mathematical model, Laplace equation, Fourier constants.

Увеличение пробега электромобиля без изменения ёмкости аккумуляторной батареи
ФИЛЮШОВ Ю.П., ФИЛЮШОВ В.Ю.

Показано, что управление явнополюсным синхронным двигателем с постоянными магнитами по минимуму тока повышает эффективность использования мощности, подводимой к обмоткам двигателя, и процессов электромеханического преобразования энергии, запасённой в аккумуляторной батарее. При ограничении тока и модуля напряжения благодаря более эффективному преобразованию энергии скорость двигателя увеличивается на 11,4 %, электромагнитный момент на 7,5 %, мощность, затрачиваемая на перемещение машины, на 20 %, что позволяет увеличить пробег электромобиля без изменения ёмкости аккумуляторной батареи по сравнению с вариантом, когда двигатель управляется током по поперечной оси. Предложен метод линеаризации управления, который позволяет точно поддерживать условия минимума тепловых потерь в статических и динамических режимах, обеспечивая высокую эффективность преобразования электрической энергии, запасённой в аккумуляторной батарее. Изменение активного сопротивления статора на 50% при нагреве двигателя не оказывает заметного влияние на динамику переходных процессов и на точное выполнение условий минимизации тепловых потерь.

Ключевые слова: электромобиль, аккумуляторная батарея, ёмкость батареи, явнополюсный синхронный двигатель с постоянными магнитами, управление по минимуму тока, метод линеаризации управления.

It is shown that controlling a single-pole synchronous motor with permanent magnets at a minimum of current increases the efficiency of using the power supplied to the motor windings and the processes of electromechanical conversion of energy stored in the battery. When limiting the current and voltage modulus, due to more efficient energy conversion, the engine speed increases by 11.4%, the electromagnetic torque by 7.5%, and the power spent on moving the machine by 20%, which allows you to increase the mileage of an electric vehicle without changing the battery capacity compared to the option when the engine is controlled by current along the transverse axis. A control linearization method is proposed that allows precise maintenance of minimum heat loss conditions in static and dynamic modes, ensuring high efficiency of conversion of electrical energy stored in the battery. A 50% change in the active resistance of the stator when the engine is heated does not have a noticeable effect on the

dynamics of transients and on the exact fulfillment of the conditions for minimizing heat losses.

Key words: electric vehicle, rechargeable battery, battery capacity, single-pole synchronous motor with permanent magnets, current minimization control, control linearization method.

Электротехника, 2024, №7, стр. 21-25

Схемотехнические и технологические способы улучшения технических характеристик силовых тиристорov. Часть II. Полевые тиристоры с внешним управлением

ВОРОНИН И.П., ВОРОНИН П.А.

Рассматриваются способы повышения эффективности управления мощными полевыми тиристорами с помощью МОП-транзисторов, интегрированных в структуру силового прибора. Показаны особенности работы полевых тиристорov в режимах высоких напряжений и повышенных плотностей тока. Представлены варианты гибридных комбинированных схем на основе индукционных тиристорov с электростатическим управлением и внешним МОП-управлением, а также монокристаллических структур тиристорov с усиленной инжекцией. Рассмотрены процессы коммутации полевых тиристорov с интегрированным управлением в номинальных режимах и при токовых и тепловых перегрузках. Представлены диаграммы работы новейших отечественных разработок управляемых полевых тиристорov.

Ключевые слова: тиристор, индукционный тиристор, полевой тиристор, полупроводниковый ключ, внешнее управление.

The methods of increasing the efficiency of controlling high-power field-effect thyristors using MOSFETs integrated into the structure of a power device are considered. The features of the operation of field thyristors in high voltage and high current densities are shown. Variants of hybrid combined circuits based on induction thyristors with electrostatic control and external MOSFET control, as well as monolithic structures of thyristors with enhanced injection are presented. The processes of switching field thyristors with integrated control in nominal modes and under current and thermal overloads are considered. Diagrams of the work of the latest domestic developments of field-controlled thyristors are presented.

Key words: thyristor, induction thyristor, field thyristor, semiconductor key, external control.

Расчет теплового состояния силового узла источника питания в среде COMSOL Multiphysics

БОЕШКО А.В., МУРАШОВ Ю.В., ОБРАЗЦОВ Н.В., КУРАКИНА Н.К., ЖИЛИГОТОВ Р.И.

Проведен анализ работы системы охлаждения тиристорных модулей источника питания, с учетом режимов работы плазмотрона постоянного тока ПН-В1. Анализ выполнен на основе моделирования теплового состояния силового узла с учетом принудительной конвекции. Получено распределение температуры радиатора, корпуса силовых модулей и окружающего пространства источника питания. Разработанная модель позволяет проводить анализ теплового состояния источника питания и оценить работу системы охлаждения при различных режимах работы.

Ключевые слова: источник питания, управляемый выпрямитель, тепловая задача, система охлаждения, тиристорный модуль, принудительная конвекция, среда COMSOL Multiphysics.

The analysis of the cooling system of thyristor modules of the power supply is carried out, taking into account the operating modes of the DC plasma torch PN-B1. The analysis was performed on the basis of modeling the thermal state of the power unit, taking into account forced convection. The temperature distribution of the radiator, the housing of the power modules and the surrounding space of the power supply is obtained. The developed model makes it possible to analyze the thermal state of the power supply and evaluate the operation of the cooling system under various operating modes.

Key words: power supply, controlled rectifier, thermal task, cooling system, thyristor module, forced convection, COMSOL Multiphysics medium.

Исследование качественных характеристик судовой кабельной продукции

БУРКОВ А.Ф. МИХАНОШИН В.В., НГУЕН ВАН ХА

Характерной особенностью современных электротехнических комплексов и систем, отличающихся большим функциональным многообразием, является широкий количественный диапазон разнотипной кабельной продукции, относящейся к их устройствам сопряжения. Надежность кабелей оказывает непосредственное влияние на качество функционирования электротехнических изделий, безопасность их эксплуатации

при техническом использовании и обслуживании, а в некоторых случаях и при ремонтах. Очевидно, что повышенные климатические, механические, химические и другие нагрузки ухудшают качественные характеристики кабелей, вызывая повышенный научно-практический интерес к тенденциям их изменения, оказывающим непосредственное влияние на предельные сроки нормальной эксплуатации кабельной продукции. В таких характерных эксплуатационных условиях функционирует, в частности судовое электрооборудование, включая большое количество его кабелей, поскольку многие суда через сравнительно небольшие интервалы времени эксплуатации могут находиться в различных, значительно отличающихся климатических условиях. На ухудшение качественных характеристик судовой кабельной продукции влияют и значительно меняющиеся механические нагрузки, обусловленные преимущественно вибрацией электрооборудования при работе главных двигателей. Прогнозируемый рост степени электрификации судов, как и электротехнических комплексов и систем многих других отраслей хозяйственной и бытовой деятельности, повышает актуальность темы исследований. На основании углубленного сбора и качественного анализа данных выполнены исследования технического состояния судовой кабельной продукции, основанные на принципах современной статистики, результаты которых целесообразно использовать в качестве исходных данных при построении эффективных моделей диагностики качества кабельной продукции и прогнозировании остаточного срока ее службы, предотвращая преждевременную замену кабелей.

Ключевые слова: судовая кабельная продукция, техническое состояние, качественные характеристики, статистические исследования.

A characteristic feature of modern electrotechnical complexes and systems characterized by a large functional diversity is a wide quantitative range of different types of cable products related to their interface devices. The reliability of cables has a direct impact on the quality of functioning of electrical products, the safety of their operation during technical use and maintenance, and in some cases during repairs. It is obvious that increased climatic, mechanical, chemical and other loads worsen the quality characteristics of cables, causing increased scientific and practical interest in the trends of their changes, which have a direct impact on the deadlines for the normal operation of cable products. In such typical operating conditions, marine electrical equipment, in particular, including a large number of its cables, functions, since many vessels can be in various, significantly different climatic conditions at relatively short intervals of operation. The deterioration of the quality characteristics of marine cable products is also

influenced by significantly varying mechanical loads, mainly caused by vibration of electrical equipment during operation of the main engines. The projected increase in the degree of electrification of ships, as well as electrical complexes and systems of many other branches of economic and household activity, increases the relevance of the research topic. Based on in-depth data collection and qualitative analysis, studies of the technical condition of shipboard cable products based on the principles of modern statistics have been carried out, the results of which should be used as initial data when building effective models for diagnosing the quality of cable products and predicting its residual service life, preventing premature cable replacement.

Key words: marine cable products, technical condition, qualitative characteristics, statistical studies.

Электротехника, 2024, №7, стр. 37-41

Защита электродвигателей и электрических сетей на основе быстрого определения постоянной времени и коэффициента мощности

РАЙНИН В.Е., КОБОЗЕВ А.С.

Для повышения качества защиты электрических сетей и электродвигателей целесообразно дополнительно контролировать электромагнитную постоянную времени. Получить необходимую информацию можно из анализа суммы квадратов мгновенных значений фазных токов или суммы мгновенных мощностей фаз. Определение постоянной времени дает возможность контролировать температуру обмоток электродвигателей, не допуская их перегрева при прямых частых пусках, блокировать защиту сети при пуске электродвигателей, что позволяет реализовать защиту дальнего резервирования и защиту от удаленных коротких замыканий.

Ключевые слова: электрические сети, электродвигатели, защита, постоянная времени, мощность, силовая функция.

To improve the quality of protection of electrical networks and electric motors, it is advisable to additionally control the electromagnetic time constant. You can get the necessary information from analyzing the sum of squares of the instantaneous values of phase currents or the sum of the instantaneous powers of phases. Determining the time constant makes it possible to control the temperature of the windings of electric motors, preventing them from overheating during direct frequent starts, blocking network protection when starting electric motors, which allows for long-range redundancy protection and protection against remote short circuits.

Key words: electrical networks, electric motors, protection, time constant, power, power function.

Электротехника, 2024, №7, стр. 42-49

Об организации систем управления электронно-лучевых технологических установок
КОЖЕЧЕНКО А.С., СЛИВА А.П., МАСЛОВ А.Н., ЩЕРБАКОВ А.В., ГОНЧАРОВ А.Л.,
РОДЯКИНА Р.В., ДРАГУНОВ В.К.

Обоснована необходимость применения единого структурированного подхода к построению систем управления электронно-лучевыми установками для сварки, наплавки и аддитивного формообразования. Выделены основные контролируемые параметры процесса и описана иерархическая структура системы управления, состоящая из трех уровней. С учетом технологических требований процессов электронно-лучевой обработки и особенностей работы вакуумной системы, электронной пушки, системы позиционирования, а также системы получения изображений области обработки по сигналу обратно-рассеянных электронов, проведена дифференциация процессов управления. Приведены типы и количественные характеристики параметров сигналов, необходимых для работы системы. Показано, что процессы управления целесообразно разделять на три группы в зависимости от требований к быстродействию исполнительных элементов, а также необходимости синхронизации одних процессов с другими во времени. На основе представленной дифференциации предложена методика выбора технических средств для каждой из упомянутых групп и приведен пример построения системы управления электронно-лучевой технологической установки с использованием доступной к приобретению элементной базы.

Ключевые слова: системы автоматического управления, электронно-лучевая установка, электронно-лучевая сварка, аддитивные технологии, числовое программное управление.

The necessity of applying a unified structured approach to the construction of control systems for electron beam installations for welding, surfacing and additive shaping is substantiated. The main controlled parameters of the process are highlighted and the hierarchical structure of the control system consisting of three levels is described. Taking into account the technological requirements of the electron beam processing processes and the features of the vacuum system, the electron gun, the positioning system, as well as the imaging system of the processing area based on the signal of backscattered electrons, the differentiation of control processes has been carried out. The types and quantitative characteristics of the signal parameters necessary for the

operation of the system are given. It is shown that it is advisable to divide control processes into three groups, depending on the requirements for the performance of the actuators, as well as the need to synchronize some processes with others in time. Based on the presented differentiation, a method for selecting technical means for each of the mentioned groups is proposed and an example of building a control system for an electron beam technological installation using an element base available for purchase is given.

Key words: automatic control systems, electron beam installation, electron beam welding, additive technologies, numerical control.

Электротехника, 2024, №7, стр. 50-59

Селекция фидера с замыканием на землю по высокочастотной переходной компоненте

КАЧЕСОВ В.Е., ЛЕБЕДЕВ А.А.

Электрические сети (ЭС) среднего напряжения с неэффективно заземленной нейтралью во многих странах мира имеют значительные суммарные протяженности, насчитывающие сотни тысяч и даже миллионы километров. Вследствие большой протяженности ЭС в них возникают различного рода повреждения, наиболее частым из которых являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ). Хотя такой режим вполне допустим, поскольку не прерывает электроснабжение, поиск и устранение повреждения изоляции неизбежны. Для селекции поврежденного фидера используют, как правило, токи нулевой последовательности, измеряемые посредством трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТ НП). В тех случаях, когда такие трансформаторы отсутствуют, предлагается использовать альтернативный способ, в котором выделение осуществляется по интенсивности переходных процессов в простейших датчиках, устанавливаемых в средней части фидеров. Суть способа заключается в регистрации высокочастотных переходных колебаний, возникающих в датчиках при набегании на них электромагнитных волн с крутым фронтом, формируемых в ЭС во время ОЗЗ. Наибольшая интенсивность переходного процесса имеет место в датчике поврежденного фидера. Информация от линейных устройств измерений (датчиков) собирается каналами телеизмерения и простейшим способом обрабатывается в блоке (центре) обработки. Предлагаемый способ принципиально пригоден для ЭС с любым способом неэффективного заземления нейтрали. Эксперимент, проведенный на воздушной ЭС 10 кВ, доказал работоспособность предложенного способа.

Ключевые слова: электрические сети среднего напряжения, фидер, однофазное замыкание на землю, датчик замыкания, переходный процесс.

Medium-voltage electric networks (EN) with inefficiently grounded neutral in many countries of the world have significant total lengths, numbering hundreds of thousands and even millions of kilometers. Due to the large length of the EN, various kinds of damage occur in them, the most common of which are single-phase earth faults (SPEF). Although this mode is quite acceptable, since it does not interrupt the power supply, the search and repair of insulation damage is inevitable. To select a damaged feeder, zero-sequence currents are usually used, measured by means of zero-sequence current transformers (ZS CT). In cases where such transformers are not available, it is proposed to use an alternative method in which the selection is carried out according to the intensity of transients in the simplest sensors installed in the middle part of the feeders. The essence of the method is to register high-frequency transient oscillations that occur in sensors when electromagnetic waves with a steep front are incident on them, formed in the EN during the SPEF. The greatest intensity of the transient process takes place in the sensor of the damaged feeder. Information from linear measuring devices (sensors) is collected by tele-measurement channels and processed in the simplest way in the processing unit (center). The proposed method is fundamentally suitable for EN with any method of ineffective grounding of the neutral. An experiment conducted on a 10 kV air power station proved the operability of the proposed method.

Key words: medium voltage electrical networks, feeder, single-phase earth fault, short circuit sensor, transient process.

Электротехника, 2024, №7, стр. 60-61

Авторы номера