Электротехника, 2024, №2, стр. 1-1

Содержание

Электротехника, 2024, №2, стр.2-11

Комплект тягового электрооборудования электромеханической трансмиссии для энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов

ФЛОРЕНЦЕВ С.В., БАЙДА С.В., ЖУРОВ И.О.

В статье освещается история создания и новейшая разработка электромеханической трансмиссии для колесного энергонасыщенного трактора мощностью 300 л.с. Приведены функциональные схемы комплекта тягового электрооборудования в составе электромеханической трансмиссии и блока силовой электроники, параметры тягового электродвигателя и мотор-генератора, рассчитанные для реализации тяговых характеристик трактора. Описаны особенности процедур настройки и приведены результаты испытаний комплекта тягового электрооборудования в виде статических характеристик.

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

The article highlights the history of creation and the latest development of an electromechanical transmission for a wheeled energy-saturated tractor with a capacity of 300 hp. Functional diagrams of a set of traction electrical equipment as part of an electromechanical transmission and a power electronics unit, parameters of a traction electric motor and a motor generator designed to realize the traction characteristics of a tractor are presented. The features of the setup procedures are described and the test results of a set of traction electrical equipment in the form of static characteristics are presented.

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

Электротехника, 2024, №2, стр.12-18

Исследование и математическое моделирование исполнительных электродвигателей постоянного тока следящих адаптивных электроприводов при оптимизации удельных параметров

АГАПОВ А.А., КРЫЛОВ Ю.М., ЧЕРНЫХ Т.Е., ПИСАРЕВСКИЙ Ю.В., ЛИТВИНЕНКО А.М.

Бесконтактные электродвигатели постоянного тока нашли применение в различных отраслях отечественной техники, в том числе в высокоответственных авиационных приложениях, формирование электротехнических комплексов которых требует минимизации массогабаритных показателей всех элементов. Однако ввиду того, что такого рода системы зачастую построены на основе сложных уникальных передаточных механизмов, их оптимизация сводится к конструктивной проработке исполнительного электродвигателя. Для электромеханических преобразователей с неперекрывающимися сосредоточенными многосекционными обмотками, применяемыми в многополюсных машинах, возможно достичь значительного снижения общей массы путем варьирования высотой зубцов и длиной машины с учетом принятых объёмных ограничений. Такого рода подход к проектированию электрических машин с дробным числом пазов на полюс и фазу позволяет сформировать магнитную систему, обеспечивающую минимум массы изделия при сохранении требуемых электромеханических показателей, за счет изменения зубцовой зоны. Полученные результаты позволят еще на этапе формирования эскизного облика магнитной системы исполнительного электродвигателя определить оптимальные соотношения параметров магнитопровода с учетом возможной минимальной массы, что актуально в рамках проектирования конструктивно сложных электромеханических авиационных систем.

Ключевые слова: следящий адаптивный электропривод, исполнительные электродвигатели постоянного тока, оптимизация удельных параметров, математическое моделирование, МКЭ.

Contactless DC electric motors have found application in various branches of domestic technology, including in highly responsible aviation applications, the formation of electrical complexes of which requires minimizing the weight and size indicators of all elements. However, due to the fact that such systems are often built on the basis of complex unique transmission mechanisms, their optimization is reduced to the constructive elaboration of the executive electric motor. For electromechanical converters with non-overlapping concentrated multi-section windings used in multi-pole machines, it is possible to achieve a significant

reduction in the total mass by varying the height of the teeth and the length of the machine, taking into account the accepted volume restrictions. This kind of approach to the design of electric machines with a fractional number of slots per pole and phase allows you to form a magnetic system that provides a minimum of the mass of the product while maintaining the required electromechanical parameters by changing the tooth zone. The results obtained will make it possible, even at the stage of forming the sketch appearance of the magnetic system of the executive electric motor, to determine the optimal ratios of the parameters of the magnetic circuit, taking into account the possible minimum mass, which is relevant in the design of structurally complex electromechanical aviation systems.
Key words: tracking adaptive electric drive, DC actuators, optimization of specific parameters, mathematical modeling, FEM.

Электротехника, 2024, №2, стр.19-27

Инвариантная система векторного управления синхронным двигателем, замкнутая через наблюдатель Аккермана

КУЧЕР Е.С.

Рассмотрен синтез инвариантной системы векторного управления скоростью синхронного двигателя с постоянными магнитами по методу локализации. Предложенная система автоматического управления двигателем обеспечивает обработку и малую чувствительность к аддитивному возмущению. Для исключения из структуры электропривода датчика скорости разработанные алгоритмы инвариантного управления синхронным двигателем замкнуты через наблюдатель Аккермана. Приведены результаты цифрового моделирования системы векторного управления синхронным двигателем с постоянными магнитами и выполнен сравнительный анализ работы предложенных алгоритмов управления машиной.
Ключевые слова: синхронный двигатель с постоянными магнитами, векторное управление, метод локализации, наблюдатель Аккермана.

The synthesis of an invariant vector speed control system of an asynchronous motor with permanent magnets by the localization method is considered. The proposed automatic engine control system provides processing and low sensitivity to additive perturbation. To exclude the speed sensor from the structure of the electric drive, the developed algorithms for invariant control of the synchronous motor are closed through the Ackerman observer. The results of digital modeling of the vector control system of a synchronous motor with permanent magnets

are presented and a comparative analysis of the proposed machine control algorithms is performed.

Key words: synchronous motor with permanent magnets, vector control, localization method, Ackerman observer.

Электротехника, 2024, №2, стр.27-34

Магнитодвижущие силы беспазовых электрических машин с дробными обмотками с числом катушек на полюс и фазу q<1

ГЕЙНРИХ Г.О., ШЕВЧЕНКО А.Ф., БАБИЦКИЙ Д.Ю.

Приведен краткий анализ магнитодвижущих сил (МДС), создаваемых дробными катушечными обмотками с числом катушек на полюс и фазу q<1 в беспазовых синхронных электрических машинах с постоянными магнитами. Приведен гармонический состав МДС, создаваемый этими обмотками. Показано влияние ширины катушки на амплитуду рабочих гармоник МДС.

***Ключевые слова*:** беспазовые электрические машины, магнитоэлектрическое возбуждение, дробные обмотки, гармоники МДС.

This paper briefly analyzes the magnetomotive forces generated by fractional coil windings with the number of coils per pole and phase q<1 in slotless electric machines excited by permanent magnets. The harmonic structure of the MMF produced by these windings is given. The influence of the coil width on the magnitude of the amplitude of the working harmonics of the MMF is shown.

***Key words*:** slotless electric machines, magnetoelectric excitation, concentrated windings,MMF harmonics.

Электротехника, 2024, №2, стр.34-40

Стабилизатор переменного напряжения на основе регулятора Чука с системой управления в один цикл

АПАЛЬКОВ Р.Г., КИСЕЛЕВ М.Г., ЦЕРКОВСКИЙ Ю.Б.

Импульсные регуляторы постоянного тока характеризуются высокими удельными показателями и высокой эффективностью. Применение двунаправленных ключей позволяет использовать такие регуляторы в цепях переменного тока и выполнять их

расчет аналогично расчету регуляторов постоянного тока. Рассмотрено применение регулятора по топологии Чука для стабилизации напряжения в однофазной сети. Алгоритм системы управления регулятора основан на методе управление за один цикл. Представлен алгоритм управления, разработана компьютерная модель, выполнен расчет модели регулятора с активной и активно-индуктивной нагрузками при изменении амплитуды напряжения сети, а также в условиях искаженного напряжения сети. Результаты показали высокую эффективность стабилизации выходного напряжения.
Ключевые слова: импульсный преобразователь напряжения, стабилизатор напряжения, преобразователь Чука, двунаправленный ключ, качество энергии.

DC pulse regulators are characterized by high specific characteristics and high efficiency. The use of bidirectional keys allows the use of such regulators in AC circuits and perform their calculation in a similar way to the calculation of DC regulators. The application of a regulator based on the Chuk topology for voltage stabilization in a single-phase network is considered. The algorithm of the controller's control system is based on the one-cycle control method. A control algorithm is presented, a computer model is developed, a model of a regulator with active and active-inductive loads is calculated when the amplitude of the mains voltage changes, as well as under conditions of distorted mains voltage. The results showed high efficiency of output voltage stabilization.
Key words: pulse voltage converter, voltage stabilizer, Chuk converter, bidirectional key, energy quality.

Электротехника, 2024, №2, стр.40-47

Режимы управления зарядным устройством на базе полумостового транзисторного преобразователя с дозирующими конденсаторами

АСАБИН А.А., ВАНЯЕВ В.В., КОПЕЛОВИЧ Е.А., ТРОИЦКИЙ М.М.

Рассмотрены основные режимы управления зарядным устройством емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) на базе полумостового транзисторного преобразователя с дозирующими конденсаторами – с постоянной и переменной на цикле зарядки ЕНЭ рабочей частотой преобразователя. Показано, что с помощью математического моделирования может быть найден оптимальный закон изменения рабочей частоты преобразователя в процессе зарядки ЕНЭ, обеспечивающий работу зарядного устройства при постоянстве заданной максимальной температуры кристаллов силовых транзисторов в

процессе зарядки. Предложен и обоснован режим комбинированной зарядки ЕНЭ с постоянной рабочей частотой преобразователя, обеспечивающий минимальную температуру кристаллов силовых транзисторов.
Ключевые слова: зарядное устройство, транзисторный преобразователь, дозирующие конденсаторы, режим управления, перегрев кристалла транзистора, регулирование рабочей частоты.

The main modes of control of the charger of a capacitive energy storage device (CESD) based on a half-bridge transistor converter with metering capacitors – with a constant and variable operating frequency of the converter during the charging cycle of the CESD are considered. It is shown that with the help of mathematical modeling, an optimal law can be found for changing the operating frequency of the converter during the charging of the CESD, which ensures the operation of the charger at a constant set maximum temperature of the crystals of power transistors during charging. The combined charging mode of the CESD with a constant operating frequency of the converter, which provides a minimum temperature of the crystals of power transistors, is proposed and justified.
Key words: charger, transistor converter, metering capacitors, control mode, transistor crystal overheating, operating frequency regulation.

Электротехника, 2024, №2, стр.48-59

Иерархическое распределённое управление модульной системой электроснабжения космического аппарата

СЕВОСТЬЯНОВ Н.А., ХАРИТОНОВ С.А.

В статье рассматривается проблема низкого качества напряжения общей шины системы электроснабжения космического аппарата (СЭС КА) с распределённым трёхуровневым иерархическим управлением. Иерархическое управление предполагает смягчение внешних характеристик параллельно соединённых силовых модулей, формирующих общую шину, для обеспечения равномерного токораспределения, что увеличивает импеданс этой шины до значения, несовместимого с требованиями к качеству напряжения бортовой аппаратуры КА. Для решения проблемы предлагается применить регулирование с тремя степенями свободы (3-DOF) для разнесения по быстродействию процессов регулирования локальных напряжений силовых модулей и смягчения их внешних характеристик, нейтрализовав влияние смягчения внешних характеристик модулей на

импеданс общей шины СЭС КА, а как следствие, и на качество напряжения. Работоспособность предложенного решения верифицируется серией экспериментов на лабораторном стенде.
***Ключевые слова*:** космический аппарат, система электроснабжения, распределённое управление, иерархическое управление.

The article deals with the problem of low voltage quality of the common bus of the spacecraft power supply system (SC PSS) with distributed three-level hierarchical control. Hierarchical control involves softening the external characteristics of the power modules connected in parallel, forming a common bus, to ensure uniform current distribution, which increases the impedance of this bus to a value incompatible with the requirements for the quality of the voltage of the onboard equipment of the spacecraft. To solve the problem, it is proposed to apply regulation with three degrees of freedom (3-DOF) to speed up the processes of regulating local voltages of power modules and softening their external characteristics, neutralizing the effect of softening the external characteristics of modules on the impedance of the common bus of the SC PSS, and as a consequence, on the quality of voltage. The operability of the proposed solution is verified by a series of experiments on a laboratory stand.
Key words: spacecraft, power supply system, distributed control, hierarchical control.

Электротехника, 2024, №2, стр.59-63

Методы расчета сопротивления объёмных проводников с малой площадью электрических контактов

МАТЮХИН С.И., МУРКО А.С., СТАВЦЕВ А.В.

Методами компьютерного моделирования изучена зависимость электрического сопротивления объёмного однородного проводника от площади электрических контактов. Предложены простые аналитические модели, описывающие эту зависимость, которые удобны при проведении инженерных расчетов. Рассмотрена и решена задача о сопротивлении многослойной структуры с малым контактом.
Ключевые слова: однородный проводник, многослойная структура, электрическое сопротивление, токи растекания, площадь электрических контактов, компьютерное моделирование, аналитическая модель.

The dependence of the electrical resistance of a volumetric homogeneous conductor on the area of electrical contacts has been studied by computer modeling methods. Simple analytical models describing this dependence are proposed, which are convenient for engineering calculations. The problem of the resistance of a multilayer structure with a small contact is considered and solved.
Key words: homogeneous conductor, multilayer structure, electrical resistance, spreading currents, area of electrical contacts, computer modeling, analytical model.

Электротехника, 2024, №2, стр.64-65

Авторы номера

Электротехника, 2024, №2, стр.66-66

Николай Алексеевич Ведешенков

(Некролог)