

Электричество, 2016, № 4, с. 4–10.

Расчёт показателей балансовой надёжности энергосистем с учётом переменной топологии электрической сети

БЕЛЯЕВ Н.А., КОРОВКИН Н.В., ЧУДНЫЙ В.С.

Предложен новый подход к расчёту показателей балансовой надёжности, основанный на линейной модели распределения потоков мощности в энергосистеме. Предложенный подход позволяет учитывать переменную топологию электрической сети при большом числе ремонтных схем без существенного увеличения вычислительных затрат. Приведены результаты тестовых расчётов балансовой надёжности для цифровой модели объединённой энергосистемы Сибири.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, балансовая надёжность, дефицит мощности

A new approach to calculating balance reliability indicators based on a linear model of load flow distribution in the power system is proposed. By using the proposed approach, it becomes possible to take into account variable electric network topology with a large number of repair arrangements without a significant increase of computation effort. The results from test calculations of balance reliability for a digital model of the Siberian power pool are given.

Key words: electric power system, balance reliability, power deficiency

Электричество, 2016, № 4, с. 10–14.

Электрические поля в высоковольтных распределительных устройствах классом напряжения 10 кВ

КОВАЛЕВ Д.И., БОРИСОВ Р.К.

Представлены результаты исследования электрических полей в ячейках комплектных распределительных устройств напряжением 10 кВ. Определена структура электрических полей сложной конфигурации в зависимости от различных источников. Приведены расчетные и экспериментальные значения распределения напряженности электрического поля для различных типов высоковольтных ячеек. Определены параметры устройства индикации напряженности электрического поля. Проведено тестирование разработанного индикатора напряжения для ячеек КРУ 10 кВ. Определен порог чувствительности индикатора, составляющий 1,0÷2,0 кВ на расстоянии 12–15 см от фазных контактов выключателя. Проведена отстройка индикатора от других потенциальных

источников напряженности, кроме фазных контактов выключателя, на которых требуется непосредственная индикация напряжения.

Ключевые слова: распределительное устройство, напряженность электрического поля, высоковольтная ячейка

Results from investigations of electric fields in 10 kV switchgear and control gear cubicles are presented. The structure of electric fields with complex configuration as a function of different sources is determined. Calculated and experimentally obtained values of electric field distribution are given for different types of high-voltage cubicles. The parameters of a device for indicating the electric field strength are determined. The voltage indicator developed for 10 kV switchgear cubicles is tested. The indicator's sensitivity threshold, equal to 1,0—2,0 kV at a distance of 12—15 cm from the circuit breaker line contacts, is determined. The indicator is set off from other potential electric field sources other than the circuit breaker phase contacts, for which voltage indication is directly required.

Key words: switchgear, electric field strength, high-voltage cubicle

Электричество, 2016, № 4, с. 15–25.

Обзор разработок полностью электрических самолетов

ТУЛИНОВА Е.Е., КОВАЛЕВ К.Л., ИВАНОВ Н.С., ЛАРИОНОВ А.Е.

В промышленно развитых странах активно ведутся работы по созданию принципиально новой энергетической системы самолета. Мировой опыт показывает, что наиболее перспективным является переход к концепции создания полностью электрического самолета (ПЭС). В статье рассматриваются основные достижения в этой области.

Представлен обзор работ по электрификации отдельных систем для более электрических самолетов (БЭС), разработок ПЭС для малой авиации. Рассмотрены наиболее перспективные исследования по созданию беспилотных летательных аппаратов и дронов.

Ключевые слова: полностью электрический самолет, более электрические самолеты, беспилотные летательные аппараты, дроны, обзор разработок

Active efforts are being taken in industrially advanced countries on developing a fundamentally new aircraft power supply system. Experience gained around the world shows that shifting to the concept of constructing a fully electrical aircraft (FEA) holds the most promise. The article considers the main achievements in this field. A review of works on electrifying individual

systems for so-called more electrified aircrafts (MEA) and developments of FEAs for small-scale aviation is presented. The most promising investigations on constructing pilotless flying vehicles and drones are considered.

Key words: fully electrical aircraft, more electrified aircrafts, pilotless flying vehicles, drones, review of developments

Электричество, 2016, № 4, с. 26–33.

Обобщенный анализ выходной энергии многофазных многоуровневых инверторов напряжения с широтно-импульсной модуляцией

БАХОВЦЕВ И.А., ЗИНОВЬЕВ Г.С.

В электроприводах и системах генерирования электроэнергии широко применяются инверторы напряжения различной топологии. Важным критерием при оценке эффективности их работы является качество выходной энергии, анализ которого традиционно проводится спектральными методами с использованием средств вычислительной техники и моделирования. В статье приведены обобщенные аналитические выражения для действующего значения и коэффициента гармоник линейного напряжения многофазных многоуровневых инверторов напряжения. Данные характеристики зависят только от глубины модуляции и числа уровней инвертора. Число фаз инвертора и способы управления определяют линейный диапазон регулирования первой гармоники выходного напряжения. Другими характеристиками, позволяющими выявить особенности способов управления, являются приведенные интегральные коэффициенты гармоник выходного напряжения. Представлены аналитические зависимости для этих коэффициентов, полученные численным путем. Приведены графики полученных зависимостей, даны рекомендации по практическому применению полученных в статье результатов.

Ключевые слова: многофазный многоуровневый инвертор напряжения, качество выходной энергии, способы широтно-импульсной модуляции, глубина модуляции, коэффициент гармоник, приведенные интегральные коэффициенты гармоник

Voltage inverters constructed according to different topologies are widely used in electric drives and in power-generating systems. The power output quality serves as an important criterion in estimating their performance efficiency. Traditionally, the power output quality is analyzed using spectral methods by means of computation facilities and simulation techniques.

The article presents generalized analytical expressions for the effective value and harmonic distortion factor of the line-to-line voltage generated by multiphase multilevel voltage inverters. These indicators depend only on the modulation depth and on the number of inverter levels. The number of inverter phases and the control methods determine the linear adjustment range of the output voltage fundamental harmonic component. The output voltage reduced integral harmonic distortion factors serve as other parameters through which the specific features of control methods can be revealed. Analytic dependences obtained numerically for these factors are presented. Graphs of the obtained dependences are given, and recommendations on using the obtained results for practical applications are suggested.

Key words: multiphase multilevel voltage inverter, output power quality, pulse-width modulation methods, modulation depth, harmonic distortion factor, reduced integral harmonic distortion factors

Электричество, 2016, № 4, с. 34–40.

Гибридная схема замещения асинхронных двигателей с глубокопазным или двухклеточным ротором

СИВОКОБЫЛЕНКО В.Ф.

Усовершенствован метод определения по каталожным данным параметров двух известных схем замещения рассматриваемых двигателей. В первой схеме для учета вытеснения тока сопротивлением ротора представлены нелинейными функциями скольжения, а во второй несколькими параллельно включенными контурами с постоянными сопротивлениями. Для учета потерь в стали в схемах выделен отдельный контур с общей взаимной индуктивностью. Предложенный метод основан на формировании и решении систем нелинейных уравнений для основных режимов двигателя и в отличие от известных обеспечивает полное совпадение расчетных и каталожных данных. Выявлены недостатки указанных схем: различные значения токов и, особенно, моментов при скольжениях, больших критического, но меньших единицы; некорректное отображение апериодических составляющих токов и моментов в переходных режимах. Предложена не имеющая недостатков гибридная схема замещения, основанная на использовании параметров ротора обеих рассмотренных схем. Схема пригодна для анализа как стационарных, так и динамических режимов. Приведены примеры, подтверждающие эффективность разработанных методов и преимущества предлагаемой гибридной схемы.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, ротор, каталожные данные, вытеснение тока, параметры, гибридная схема замещения

A method for determining the parameters of two well-known equivalent circuits of the considered motors based on catalogue data is improved. In the first circuit, the rotor resistance displacement phenomenon is taken into account by nonlinear functions of slipping, and in the second circuit this is taken into account by using a few parallel-connected loops with constant resistances. For taking into account iron losses, an individual loop with a common mutual inductance is separated in the circuits. The proposed method is based on constructing and solving systems of nonlinear equations for the motor's main operating modes and, in contrast to the well-known ones, yields calculation results fully identical with the catalogue data.

Drawbacks of the above-mentioned circuits are revealed: they yield different values of currents and, especially, of torques at slipping values higher than the critical one but less than unity; incorrect presentation of aperiodic components of currents and torques during transients. A hybrid equivalent circuit free from drawbacks is proposed, which is based on using the rotor parameters in both of the considered circuits. The proposed circuit is suitable for analyzing both steady and dynamic modes of operation. Examples confirming the effectiveness of the developed methods and the advantages of the proposed hybrid circuit are given.

Key words: asynchronous motor, rotor, catalogue data, current displacement, parameters, hybrid equivalent circuit

Электричество, 2016, № 4, с. 41–48.

Аналитический расчет магнитного поля магнитоэлектрического двигателя на основе конформных и зеркальных отображений

АФАНАСЬЕВ А.А., АХМЕТЗЯНОВ Д.И.

Обоснован способ получения аналитических выражений для расчета распределения индукции в воздушном зазоре магнитоэлектрических машин с учетом зубчатости одного из сердечников. Подход основан, во-первых, на представлении постоянных магнитов эквивалентными поверхностными слоями токов и, во-вторых, на применении двойного конформного преобразования сложной зубчатой области к гладкому зазору (полосе). В статье сделаны необходимые ссылки на литературу, позволяющие сформировать алгоритм вычислений в каждом конкретном случае. Результаты расчетов по предложенному аналитическому методу подтверждены сравнением с результатами

численных расчетов поля в конкретном вентильном двигателе.

Ключевые слова: магнитоэлектрический двигатель, магнитное поле, расчет, метод конформных и зеркальных отображений

An approach to obtaining analytical expressions for calculating the induction distribution pattern in the air gap of magnetoelectric machines taking into account that one of the cores has a toothed surface outline is substantiated. The proposed approach is based, first, on representing permanent magnets by equivalent surface current layers and, second, on applying a double conformal transformation of the complex toothed area to a smooth gap (band). Necessary references to the literature are made in the article, which make it possible to draw up a calculation algorithm in each particular case. The results of calculations carried out according to the proposed analytical method are confirmed by their comparison with the results of numerical calculations of the field in a particular converter-fed motor.

Key words: magnetoelectric motor, magnetic field, calculation, conformal and mirror images method

Электричество, 2016, № 4, с. 48–55.

Электрохимическое устройство для усилителя руля автомобиля

КАЛУЖСКИЙ Д.Л., ПАСТУХОВ В.В., ПРУДОВ Н.М., ХАРИТОНОВ С.А., МЕХТИЕВ А.Д.

Для управления автомобилем необходимо гидравлическое или электрохимическое устройство. По мнению экспертов [1, 2], гидравлический привод по ряду причин, не отвечает современным требованиям. Электрохимический же усилитель, подключаемый к бортовому компьютеру, способен обеспечить точное воспроизведение движения руля и осуществить настройку по значению момента в зависимости от внешних факторов. Рассмотрены базовые конструкции электрохимического усилителя руля, отмечены их достоинства и недостатки. Исследования позволили спроектировать и изготовить высокомоментный электродвигатель индукторного типа, предназначенный для электрохимического управления руля автомобиля. В качестве критерия оптимальности при расчете предложено отношение $M/P^{\alpha} \max$, где M – момент, P – электрические потери в обмотках, α в качестве ограничений – габариты машины. Приведены основные параметры разработанного электрохимизма.

Ключевые слова: электрохимическое устройство, руль автомобиля, управление, индукторный электродвигатель, параметры

A hydraulic or an electromechanical device is necessary for steering a car. In the opinion of experts [1, 2], a hydraulic drive does not meet the modern requirements for a number of reasons. On the other hand, an electromechanical steering booster connected to the on-board computer is able to exactly replicate the steering wheel motion and to make adjustment based on the value of torque depending on the external factors. Basic designs of an electromechanical steering booster are considered, and their advantages and drawbacks are pointed out. As a result of the performed investigations, it has become possible to design and manufacture a high-torque inductor-type electric motor intended for electromechanically controlling the car steering wheel. The following relation is proposed as the optimality criterion in calculations: M/P -max, where M is the torque, P is the electric power loss in the windings, and the car overall dimensions are used as constraints. The main parameters of the developed electrical actuator are given.

Key words: electromechanical device, steering wheel, car, control, inductor electric motor, parameters

Электричество, 2016, № 4, с. 56–61.

Способы уменьшения пульсации момента бесконтактных двигателей и выходного напряжения тахогенераторов постоянного тока

ГРИДИН В.М.

Для уменьшения пульсации момента бесконтактных двигателей постоянного тока (до 2% и менее) предложено на каждом межкоммутационном интервале изменять ток в секциях якорной обмотки так, чтобы в начале и в конце каждого интервала ток был максимальным, а в середине минимальным. Для уменьшения пульсации выходного напряжения бесконтактных тахогенераторов постоянного тока (до 2% и менее) предложено умножать выпрямленное напряжение синхронного генератора на коррекционное напряжение – оно максимально, когда выпрямленное напряжение минимально, и наоборот. Таким образом, для двигателей предложено дискретно-аналоговое управление по положению ротора, а для тахогенераторов – безынерционный фильтр выпрямленного напряжения. Для указанного изменения тока в двигателях и коррекционного напряжения в тахогенераторах предлагается применять датчик положения ротора, у которого число полюсов больше числа полюсов двигателя и тахогенератора.

Ключевые слова: бесконтактные двигатели и тахогенераторы постоянного тока, дискретно-аналоговое управление, пульсация момента, безынерционный фильтр, пульсация выходного напряжения

In order to decrease pulsations of the torque produced by contactless DC motors (down to 2% and lower), it is proposed to change the current through the armature winding sections in each inter-switching interval so as to have its maximum value at the beginning and end of each interval and the minimum value at the middle of each interval. In order to decrease the output voltage ripple in contactless DC tachogenerators (down to 2% and lower), it is proposed to multiply the synchronous generator's rectified voltage by a correction voltage, which has the maximal value at the minimal rectified voltage and vice versa. Thus, a discrete-analog control with a rotor position feedback signal is proposed for motors, and an inertia-free filter of rectified voltage is proposed for tachogenerators. For organizing the above-mentioned variation of current in the motors and correction voltage in tachogenerators, it is proposed to use a rotor position sensor with the number of poles larger than that in the motor and tachogenerator.

Key words: contactless motors and DC tachogenerators, discrete-analog control, torque pulsation, inertia-free filter, output voltage ripple

Электричество, 2016, № 4, с. 62–66.

Увеличение чувствительности емкостного метода контроля изоляционных покрытий проводов

МАТВЕЕВ А.В.

Статья посвящена теоретическому развитию метода неразрушающего контроля изоляционного покрытия кабелей и проводов. Метод основан на фиксации изменений диэлектрической проницаемости диагностируемого участка. Однако несмотря на высокую точность метод имеет ряд существенных недостатков, ограничивающих его применение, и не полностью соответствует требованиям ГОСТа. В этот достаточно известный в практике измерений и диагностики кабельных изделий метод предлагается внести ряд усовершенствований для устранения недостатков, выявленных в процессе его практической реализации; предложены формулы для расчета элементов диагностической схемы.

Ключевые слова: кабели, провода, изоляция, контроль качества, обнаружение дефектов

The article deals with theoretical development of the method for non-destructively examining the insulation coating of cables and wires. The method is based on detecting changes in the dielectric constant of the segment being diagnosed. However, despite featuring high accuracy, the method has a number of essential drawbacks limiting its application field; in addition, it is not in full compliance with the requirements of the applicable national state standard (GOST). It is proposed to introduce a number of improvements in this method, which is a well known technique used for practical measurements and diagnostics of cable products, in order to remove the drawbacks revealed in the course of its practical implementation, and formulas for calculating the diagnostic circuit elements are suggested.

Key words: cables, wires, insulation, quality control, flaw detection