

Электротехника, 2015, №4

Построение новых защит на основе анализа характера изменения суммарной мгновенной мощности при возмущении электрической цепи

РАЙНИН В.Е., КОБОЗЕВ А.С., СЕРЕДА А.Г.

Применение в устройствах защиты микропроцессорной техники дает возможность извлекать из данных о контролируемых параметрах (ток, напряжение, мощность) дополнительную информацию о коэффициенте мощности или постоянной времени. Это позволяет существенно повысить возможности защит, при этом эффективность новых, более совершенных защит, во многом зависит от скорости определения дополнительных параметров. Показано, что можно быстро (в течение первых 20 мс после возникновения тока возмущения) определить значение коэффициента мощности путем анализа характера изменения суммарной мгновенной мощности трехфазной цепи. Полученная информация позволяет отстроиться от пусковых токов электродвигателей и тем самым существенно повысить чувствительность защиты к небольшим токам КЗ. В результате появляется возможность реализовывать как защиту «дальнего резервирования», так и защиту от удалённых КЗ. Показано, что быстрое определение постоянной времени в первый момент пуска асинхронного электродвигателя (до начала вращения ротора), позволяет контролировать изменение сопротивления обмоток и, соответственно, их температуру по характеру изменения мгновенной мощности. Это позволяет использовать сами обмотки в качестве датчиков температуры для построения эффективной тепловой защиты электродвигателей, работающих в тяжелом повторно-кратковременном режиме.

Ключевые слова: суммарная мгновенная мощность в переходном режиме, быстрое извлечение информации о $\cos\varphi$, совершенствование токовых защит сетей и электродвигателей.

The application of the protection devices of microprocessor technology allows to extract data traditionally controlled parameters (current, voltage, power) for more information on power factor or time constant. This significantly increases the possibilities of protection, the effectiveness of new, more perfect protection, largely depend on how quickly define additional settings. It is shown that you can quickly (within the first 20 ms after the inception of the current disturbances) to determine the value of the power factor by analysis of the nature of changes in the total instantaneous power of three-phase circuit. This information allows us to separate from the starting current of the motor, and, thereby, increase the sensitivity of protection to small short circuit currents. In the result, there appears the possibility to implement, as the protection of «remote backup», and protection against remote short circuit. It is shown that quickly determine the time constant in the first moment of start-up of the asynchronous electric motor (until the beginning of rotor rotation), allows you to control the change of resistance of windings and temperature on the character of change of instantaneous power. This allows you to use winding themselves as temperature sensors for building effective thermal protection electric motors working in heavy intermittent duty.

Key words: total instantaneous power in transitional regime, rapid retrieval of information about $\cos\varphi$, improvement of current protection networks and electric motors.

Электротехника, 2015, №4

Применение индивидуального проектирования при выборе опор воздушных линий электропередач¹

АБДУЛВЕЛЕЕВ И.Р., КОРНИЛОВ Г.П.

Рассмотрены основные тенденции в развитии индивидуального проектирования воздушных линий электропередач. Приведена методика комплексного расчета прочностных характеристик

воздушных линий с последовательным применением систем автоматизированного проектирования SolidWorks и AnsysWorkbench. Проведено сравнение надежности трех участков линий, выполненных с применением различных типов опор, в зависимости от климатических условий эксплуатации. Блочная имитационная модель позволяет рассчитать комплекс механических нагрузок на опоры воздушных линий в зависимости от различных атмосферных условий: температуры воздуха, толщины стенки гололеда и ветрового давления. Механический расчет воздушных линий осуществляется с учетом материалов и конструкций опор, типа изоляторов, сечения токоведущих проводов и грозозащитных тросов. Предложена доступная и универсальная методика обоснованного выбора типа опор и конструктивных элементов при проектировании воздушных линий. Результаты расчетов позволяют определить наиболее надежные климатические условия эксплуатации опор воздушных линий электропередач. *Ключевые слова:* индивидуальное проектирование воздушных линий, стальная решетчатая опора, многогранная опора, железобетонная опора, коэффициент запаса прочности, надежность воздушных линий электропередач.

This article describes the main trends in the development of individual design of overhead power lines. The methodology for calculating the integrated strength characteristics of overhead lines with consistent application of CAD SolidWorks and AnsysWorkbench. A comparison of reliability of three line segments made with different types of supports, depending on climatic conditions. Modular simulation model allows the calculation of complex mechanical loads on the support of overhead lines according to different atmospheric conditions: ambient temperature, ice loading and wind force. Mechanical calculation of overhead lines shall be based on materials and structures of tower, type of insulators, cross-section of conductors and ground_wire cables. To offer an affordable and versatile technique informed choice type of supports and structural elements in the design of overhead lines. The results of calculations allow us to determine the most reliable climatic conditions of use overhead lines. *Key words:* individual design, mechanical calculation of overhead transmission lines, steel lattice tower, polyhedral tower, reinforced concrete tower, the safety factor, the reliability of overhead power lines.

Электротехника, 2015, №4

Модуляционные алгоритмы управления полупроводниковыми преобразовательными устройствами

ВАСИЛЬЕВ Б.Ю., ДОБУШ В.С.

Рассмотрены различные алгоритмы управления полупроводниковыми преобразовательными устройствами на примере автономного инвертора. Показаны структуры и способы повышения эффективности алгоритмов широтно-импульсной и пространственно-векторной модуляции. Проанализирован уровень электромагнитной совместимости автономного инвертора при различных модификациях модуляционного алгоритма.

Ключевые слова: полупроводниковое преобразовательное устройство, широтно-импульсная модуляция, предмодуляция, пространственно-векторная модуляция, перемодуляция, электромагнитная совместимость.

Various control algorithms semiconductor transducer devices on the example of autonomous inverter. Showing the structure and ways of improving algorithms PWM and space vector modulation. Analyzed the level of electromagnetic compatibility autonomous inverter with different versions of the modulation algorithm.

Key words: semiconductor conversion device, pulse width modulation, predmodulyatsiya, space vector modulation, overmodulation, electromagnetic compatibility.

Электротехника, 2015, №4

Мощные преобразователи с резонансной коммутацией на стороне переменного тока¹
ВОРОНИН П.А., ВОРОНИН И.П.

Рассматривается задача снижения коммутационных потерь применительно к мощным преобразователям электроэнергии. Снижение динамических потерь позволяет улучшить основные энергетические характеристики преобразователя и обеспечить уменьшение его габаритных размеров и массы. Представлены трехфазные схемы инверторов, в которых за счет применения резонансных ключей с колебательным контуром на стороне переменного тока, обеспечиваются минимальные потери на переключение. Показано, что при повышенных напряжениях и токах необходимо использовать только такие типы резонансных ключей, в которых резонансный дроссель и вспомогательный ключ выведены из контура силового тока преобразователя.

Дана сравнительная оценка эффективности практического применения резонансных ключей данного типа.

Ключевые слова: резонансный ключ, резонансный дроссель, резонансный конденсатор, инвертор напряжения, инвертор тока.

The article considers the task of reducing the switching loss for high power converters. Reducing the dynamic loss can improve the basic energy converter characteristics and achieve a reduction in its dimensions and weight. A three-phase inverter circuit, where due to the use of the resonant tank circuit with the switches on the AC side, provided the minimum switching loss. Here is shown that at high voltages and currents it's necessary to use resonant switches types in which resonant inductor and auxiliary switch removed from the current circuit of power converter. The paper presents comparative evaluation of the practical application of selected resonant switch type.

Key words: resonant switch, resonant inductor, resonant capacitor, voltage inverter, current inverter.

Электротехника, 2015, №4

Исследование условий самовозбуждения асинхронного генератора
КОРШУНОВ А.И.

Представлены результаты исследования условий самовозбуждения двухфазного асинхронного генератора с фазным ротором и последовательным конденсаторным возбуждением классическим методом. Исследования выполнены при обычных допущениях, позволяющих рассматривать асинхронный генератор как линейную динамическую систему с гармоническими коэффициентами, изменяющимися с одинаковой частотой. Получено аналитическое решение системы линейных однородных дифференциальных уравнений с гармоническими коэффициентами, описывающей асинхронный генератор с конденсаторным самовозбуждением. Анализ решения позволил получить строгие условия его самовозбуждения. Правильность полученных результатов проверена математическим моделированием.

Ключевые слова: самовозбуждение, асинхронный генератор.

Asynchronous two-phase phase-rotor capacitor excitation generator's self-excitation conditions classical method investigation results are presented. Investigations are made the case of usual assumptions. It is allowed to examine asynchronous generator as linear dynamic system having the same frequency harmonic coefficients. Asynchronous generator's homogeneous system of linear differential equations having harmonic coefficients analytical solution is found. Solution analysis gave asynchronous generator's self-excitation conditions. Obtained conditions' correctness is verified with mathematical modeling.

Key words: self-excitation, asynchronous generator.

Электротехника, 2015, №4

Разработка и освоение производства энергоэффективных асинхронных двигателей массовых серий

БЕСПАЛОВ В.Я., КОБЕЛЕВ А.С., КРУГЛИКОВ О.В., МАКАРОВ Л.Н.

Представлены основные технические показатели серии энергоэффективных асинхронных электродвигателей. Указаны основные конкурентные преимущества серии 7AVE. Перечислены основные модификации и специализированные исполнения, выполняемые на ее базе. Отмечено, что новые решения оказываются более экономичными по сравнению с предыдущей серией AIR, 5A для сопоставимых классов энергоэффективности. Уточнена формулировка понятия «сервис-фактор». Обсуждены вопросы выбора рациональных внешних диаметров сердечников статора. Отмечены преимущества увязки CENELEC для обеспечения высших классов энергоэффективности асинхронных электродвигателей малой и средней мощности. Затронут вопрос о возможности проектирования асинхронных двигателей со сверхвысоким классом энергоэффективности IE4. Представлены расчетные характеристики типоразмера с классом энергоэффективности IE4.

Ключевые слова: асинхронные двигатели единых серий, энергоэффективность, специальные исполнения асинхронных двигателей.

The main technical characteristics of series of energy-efficient induction motors are presented. The main competitive advantages of the 7AVE are shown. Lists major modifications and specialized motors, developed on its basis. Notes that new solutions are more economical compared with the previous series AIR or 5A for comparable energy efficiency classes. The definition of «service' factor» concept is clarified. The problems of rational choice of the stator outer diameters core are discussed. The advantages of CENELEC-scale for ensuring of higher energy efficiency classes of low and medium power asynchronous motors are noted. The problem is raised about the possibility of designing asynchronous motors with ultra-high energy efficiency class IE4. The calculated characteristics of the pilot size with IE4 energy efficiency class are showed.

Key words: AC motors series; energy efficiency; special designs of induction motors.

Электротехника, 2015, №4

Частотно-регулируемый электропривод с электропитанием от двух независимых вводов¹

КАРАНДАЕВ А.С., КОРНИЛОВ Г.П., ХРАМШИН Т.Р., ХРАМШИН В.Р.

Недостатком частотно-регулируемых электроприводов является их повышенная чувствительность к нарушениям электроснабжения: кратковременным отключениям либо провалам напряжения. При внедрении преобразователей частоты на ответственных механизмах тепловых электростанций это приводит к повышению опасности аварийных отключений энергоблоков. С целью предотвращения указанного недостатка разработаны частотно-регулируемые электроприводы с электропитанием от двух независимых вводов. В качестве базовой принята схема преобразователя частоты с двумя выпрямителями, объединенными на стороне постоянного тока. Для исключения неконтролируемых переключений между вводами необходимо обеспечить приоритетность одного из вводов. При этом повышение напряжения на вводе, принятом в качестве основного, не является рациональным решением. Необходимо обеспечить непрерывность работы электропривода за счет автоматического переключения на резервный ввод при исчезновении питающего напряжения на основном вводе. Предложена схема на основе двух комплектов идентичных преобразователей частоты, соединенных параллельно на стороне постоянного тока. Схема также содержит регулятор напряжения, снабженный автоматической системой управления, который должен обеспечивать устойчивую работу электропривода при питании от основного ввода. Силовая часть регулятора построена на основе активного сетевого модуля (ALM), выполненного на полностью управляемых ключах. Разработан преобразователь частоты с упрощенной силовой схемой, диодным выпрямителем и комплектом активного сетевого модуля ALM. Для экспериментального исследования его режимов разработан и изготовлен экспериментальный электропривод с использованием быстродействующего преобразователя напряжения (мощности) типа СТАТКОМ, который выполняет функции регулятора

напряжения ALM. Выполнены экспериментальные исследования электропривода при имитации аварийных отключений на одном из вводов, плавном перераспределении нагрузки по вводам и в других режимах. Представлены осциллограммы основных координат, показано, что во всех режимах обеспечивается требуемое качество переходных процессов. Так, автоматическое переключение преобразователя частоты на резервный ввод практически не оказывает влияния на работу электропривода. Это позволяет сделать вывод, что технологический режим ответственного механизма не будет нарушен. В целом, экспериментальные исследования подтвердили сохранение устойчивой работы частотно-регулируемого электропривода при изменениях напряжения либо отключении одного из вводов.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, нарушения электроснабжения, устойчивость, преобразователь частоты, электропитание от двух вводов, силовые схемы, лабораторная установка, экспериментальные исследования, осциллограммы.

The major disadvantage of the variable frequency drives is their excessive sensitivity to interruptions of power supply: short-termed power cutoffs or voltage depressions. Within the period of integration of the frequency changing circuit at the essential units of the thermal power stations it can result in the increasing hazard of electrical power unit blackout. To compensate the mentioned disadvantage variable frequency drives with electrical supply from two independent inputs have been developed. The frequency-changing circuit with two rectifiers connected on the direct current side has been taken as a basic one. To prevent uncontrolled switching over between inputs the priority of one input should be provided. In this case, voltage rise on the input which has been taken as the primary one is not an efficient solution. Continuous operation of the electric drive should be provided with the automatic switching over the reserve input at the loss of supply voltage on the primary input. We propose the arrangement on the basis of two groups of identical frequency-changing circuits connected in parallel on the direct current side. The arrangement also contains a voltage adjuster equipped with automatic control system which must provide steady operation of the electric drive with primary input supply. The power unit of the adjuster is constructed on the basis of the active field-bus module (ALM) realized on fully-controllable switch contacts. The frequency drive with the simplified main circuit, with a diode rectifier and a group of the active field-bus module ALM has been developed. To conduct experimental investigations of its mode the exploratory prototype of the electric drive with fast response STATCOM type voltage (power) switch converter has been developed and built. This converter acts as a voltage adjuster of ALM. Experimental investigations of the electric drive imitating blackout on one of the inputs, gradual voltage load transfer between inputs and other modes have been conducted. The oscillographs of the main coordinates are submitted which show that the required quality of the transient phenomena is provided in all modes. So, automatic switching of the frequency changing circuit over the reserved input does not practically effect the operation of the electric drive. Thus, we can draw the conclusion that the technological mode of the essential unit would not be affected. Generally, experimental investigations have substantiated the maintenance of steady operation of the variable frequency drive under conditions of voltage changes or switching off one of the inputs.

Key words: variable frequency drive, interruptions of power supply, steady operation, frequency changing circuit, electrical supply from two inputs, main circuits, laboratory scale plant, experimental investigations, oscillographs.

Электротехника, 2015, №4

Система оперативной диагностики технического состояния ветроэнергетических установок
КРЮКОВ О.В., СЕРЕБРЯКОВ А.В.

Рассмотрены вопросы мониторинга технического состояния электромеханической части ветроэнергетических установок в соответствии концепцией локальных сетей SMART GRID. Предложено создание встроенной системы оперативного диагностирования технического состояния ветроэнергетических установок для автономных источников энергии. Разработан математический подход к диагностированию технического состояния электромеханической части, позволяющий объединить в единый объект мониторинга силовую и управляющую части.

Ключевые слова: система оперативной диагностики, электромеханическая часть, ветроэнергетическая установка, мониторинг технического состояния, автономные источники энергии.

The main issues of technical condition monitoring of electromechanical part of the wind power plants in accordance with the concept of local networks of SMART GRID. Proposed the establishment of an integrated system of on-line diagnostics of the technical condition of wind driven power plants for autonomous energy sources. There was developed a mathematical approach to diagnose the technical condition of electromechanical parts, which combines in a single object of monitoring power and a control part.

Key words: the system of operative diagnostics, electromechanical part, wind power installation, monitoring of technical state, autonomous sources of energy.

Электротехника, 2015, №4

Моделирование электрофизических свойств объемных ВТСП материалов при расчетах магнитных систем¹

КУЛАЕВ Ю.В., КУРБАТОВ П.А., КУРБАТОВА Е.П., МАТВЕЕВ В.А., МАЕВСКИЙ В.А., НИЖЕЛЬСКИЙ Н.А., СЫСОЕВ М.А.

Для расчетов магнитных систем с элементами из объемных высокотемпературных сверхпроводящих материалов (ВТСП) предложены развитые макроскопические модели электрофизических свойств материалов, которые представлены совокупностью транспортных и связанных токов и определены соответственно резистивной моделью для токов и нелинейной гистерезисной моделью для намагниченности. Такие модели позволяют более точно воспроизводить поведение сверхпроводников в электромагнитном поле односвязных и многосвязных областей в различных режимах перевода ВТСП в сверхпроводящее состояние. В статье приведены результаты сопоставления комбинированной и резистивной модели ВТСП свойств. Предлагаемые модели позволяют воспроизводить нелинейные, анизотропные и гистерезисные свойства сверхпроводников в широком диапазоне вариаций параметров на макроскопическом уровне и могут быть рекомендованы для использования при численном анализе электромагнитных полей. Приведенные результаты расчетов позволяют обосновать способы определения параметров комбинированной модели свойств по данным экспериментальных исследований.

Ключевые слова: объемные ВТСП материалы, эффект Мейснера, электрофизические свойства, транспортный ток, намагниченность, полный ток, суммарный магнитный момент.

For calculations of magnetic systems with elements of bulk high-temperature superconducting materials (HTSC) offered more advanced macroscopic models of electrical properties of materials that are represented by a set of transport and associated currents and identified respectively resistive model for currents and nonlinear hysteretic model for magnetization. Such models allow us to more accurately reproduce the behavior of superconductors in the electromagnetic field as a simply connected, and in multiply connected domains in different modes of translation HTS to the superconducting state. The paper presents the results of a comparison of the combined and resistive model of HTS properties. The proposed models allow to reproduce the nonlinear, anisotropic and hysteretic properties of superconductors in a wide range of parameter variations on a macroscopic scale and can be recommended for use in numerical analysis of electromagnetic fields. Results of the calculations allow to substantiate the methods of determining the parameters of the combined model by the experimental data.

Key words: bulk HTSC materials, Meissner effect, electrical properties, transport current, magnetization, total current, total magnetic moment.

Электротехника, 2015, №4

Методика и установка для исследований электрофизических свойств ВТСП материалов
КУРБАТОВ П.А., КУРБАТОВ А.П., МОЛОКАНОВ О.Н.

Предложена методика экспериментальных исследований электрофизических свойств ВТСП материалов, ориентированная на определение параметров материальных уравнений комбинированной модели для двух источников электромагнитного поля: плотности токов и намагниченности. Методика предполагает проведение ряда опытов в варьируемых внешних магнитных полях и различных режимах перехода в сверхпроводящее состояние, что позволяет выделить влияние отдельных типов источников поля. Так как создать условия, при которых будут поддерживаться однородные распределения плотности тока и намагниченности при изменении внешней магнитной индукции в образцах из ВТСП материала, не представляется возможным, определение параметров магнитного поля и его источников в материале образцов базируется на расчетно-экспериментальных методах, когда по параметрам магнитного поля вне образца, вычисляются их значения внутри. Для практической реализации методики экспериментальных исследований создана специальная лабораторная установка, укомплектованная необходимыми средствами измерений и магнитной системой для создания регулируемого внешнего магнитного поля с магнитной индукцией до 1,5 Тл.

Ключевые слова: электрофизические свойства, ВТСП материалы, методика, экспериментальные исследования, лабораторная установка, магнитная система, постоянные магниты.

The paper presents the method of experimental studies of electrical properties of HTS materials, focused on the determination of the parameters of constitutive equations for combined model with two sources of electromagnetic fields: current density and magnetization. This method involves a series of experiments in varying external magnetic fields and various modes of transition to the superconducting state, which allows to separate the impact of individual types of field sources. Because to create the conditions that will allow to maintain homogenous current density distribution and magnetization under varying external magnetic induction in the samples of the HTS material is not possible, the determination of the parameters of the magnetic field and its sources in the sample of material is based on computational and experimental methods, where the parameters of the magnetic field outside the sample, calculated by values inside the sample. For practical realization of the method of experimental research, a special laboratory installation, completed with the necessary measuring tools and magnetic system to create a controlled external magnetic field with the magnetic flux density of 1,5 T, is constructed.

Key words: electrophysical properties, HTSC materials, method, experimental research, test rig, magnetic system, permanent magnets.

Электротехника, 2015, №4

Анатолий Евтихиевич Козярук (К 75-летию со дня рождения)

Электротехника, 2015, №4

Арипжан Адилевич Хашимов (к 75-летию со дня рождения)

Электротехника, 2015, №4

Александр Меерович Вейнгер (1933-2014 гг.)