

Оптимизация размещения активно-адаптивных устройств в электроэнергетических системах

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

Optimizing the Placement of Active-Adaptive Devices in Electric Power Systems

N.A. BELYAEV, N.V. KOROVKIN, O.V. FROLOV, and V.S. CHUDNYI

Предложен подход к оптимизации параметров и размещения активно-адаптивных устройств (ААУ) в электроэнергетических системах (ЭЭС). При реализации подхода активно используются дробно-полиномиальные зависимости параметров режима ЭЭС от параметров ААУ. Подход основан на кластеризации ЭЭС и независимом управлении режимами ЭЭС внутри кластеров. Для решения задачи кластеризации введено понятие зон влияния ААУ, разработана методика определения зон влияния и исследованы их основные свойства. Задача кластеризации ЭЭС решена с использованием алгоритма минимальной степени. Показано, что рассмотрение зон влияния позволяет оценивать влияние на режимы ЭЭС большого числа ААУ. Исследованы зависимости размера зоны влияния ААУ от его параметров и от места расположения в ЭЭС. Эффективность предложенных подходов показана на примере решения задачи минимизации потерь в ЭЭС Санкт-Петербурга и Ленинградской области (ЭЭС СПб и ЛО). Оценено оптимальное число ААУ, необходимых для эффективного управления режимами этой ЭЭС. Указаны ЭЭС СПб и ЛО конкретных для оптимального размещения ААУ поперечного типа с варьруемой реактивной проводимостью номинальной мощностью 50 Мвар.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, активно-адаптивное устройство, оптимизация, дробно-полиномиальная зависимость, управление, кластер, зона влияния

An approach to optimizing the parameters and placement of active-adaptive devices (AADs) in electric power systems (EPSs) is proposed. The approach is implemented with extensive use of rational-polynomial dependences of the ERS operating parameters on the AAD parameters. The approach is based on decomposing the EPS into clusters and performing independent control of EPS operating modes inside the clusters. To solve the problem of decomposing the EPS into clusters, the notion of AAD influence zones is introduced, a procedure for determining the influence zones is developed, and their main properties are investigated. The problem of decomposing an EPS into clusters is solved using the minimum degree algorithm. It is shown that by considering the influence zones one can estimate the influence of a large number of AADs on the EPS operating modes. Dependences of the AAD influence zone dimensions on the AAD parameters and location in the EPS are investigated. The effectiveness of the proposed approaches is demonstrated on the example of solving the problem of minimizing losses in the EPS of St. Petersburg and Leningrad region. The optimal number of AADs required for efficiently controlling the operating modes of this EPS is estimated. The particular substations for the optimal placement of shunting AADs with variable susceptance and rated capacity equal to 50 Mvar are indicated.

Key words: electric power system, active-adaptive device, optimization, rational-polynomial dependence, control, cluster, influence zone

Беляев Николай Александрович окончил электромеханический факультет С.Петербургского государственного политехнического университета (СПбГПУ) в 2012 г. Инженер ОАО «Научно-технический центр Единой энергетической системы» (НТЦ ЭЭС), аспирант СПбГПУ.

Коровкин Николай Владимирович окончил электромеханический факультет Ленинградского политехнического института (ныне Национальный исследовательский Санкт-Петербургский государственный политехнический университет НИ СПбГПУ) в 1977 г. В 1997 г. защитил докторскую диссертацию «Построение синтетических схем для численного анализа электромагнитных процессов, описываемых жесткими уравнениями». Профессор, заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехники» НИ СПбГПУ).

Фролов Олег Валерьевич окончил электромеханический факультет (ЭМФ) СПбГТУ в 1995 г. В 2007 г. защитил кандидатскую диссертацию «Оптимизация режимов энергосистемы северо-запада на основе применения фазорегулирующих устройств». Генеральный директор ОАО НТЦ ЕЭС.

Чудный Владимир Сергеевич окончил ЭМФ СПбГПУ в 1998 г. В 2002 г. защитил кандидатскую диссертацию «Оптимизация параметров воздушных линий постоянного тока сверх- и ультравысокого напряжения с учетом требований надежности и экологии». Доцент кафедры «Электрические системы и сети» НИ СПбГПУ.

Belyaev Nikolai Aleksandrovich (St. Peterburg, Russia) graduated from electromechanical department of the S.Peterburg State Polytechnical University (SPSPU) in 2012. He is a Engineer of the JSC «Scientific and Technical Centre of the Unified Energy System» (STC UES), postgraduate student SPSPU.

Korovkin Nikolay Vladimirovich (St. Peterburg, Russia) graduated from the electromechanical department of the Leningrad Polytechnical Institute (now – National Scientific St. Peterburg State Polytechnical University – NS SPSPU) in 1977. In 1997 he received the degree Doctor Techn. Sci. He is a Head of the Department of the NSSPSPU.

Frolov Oleg Valer'yevich (St. Peterburg, Russia) graduated from the electromechanical department of the SPSPU in 1995. In 2007 he received the degree Cand. Techn. Sci. General director of the STC UES.

Chudnyi Vladimir Sergeyeovich (St. Peterburg, Russia) graduated from the electromechanical department of the SPSPU in 1998. In 2003 he received the degree Cand. Techn. Sci. He is a associate professor in the department of the NSSPSPU.

Использование методических подходов теории оценивания состояния для расчета и достоверизации потоков электрической энергии в сетях

ПАЗДЕРИН А.В., ЕГОРОВ А.О., КОЧНЕВА Е.С., САМОЙЛЕНКО В.О.

Using the Methodical Approaches of State Estimation Theory for Calculating and Validating Electric Energy Flows in Networks

A.V. PAZDERIN, A.O. EGOROV, E.S. KOCHNEVA, and V.O. SAMOILENKO

Рассматривается новый подход к анализу энергетических режимов электрических сетей, названный расчетом энергораспределения. Решение данной задачи позволяет получить сбалансированную модель распределения потоков и потерь электрической энергии на графе сети. Приведены доказательства факта, что моделирование режима с использованием традиционных уравнений установившихся режимов приводит к появлению неустраимых небалансов.

Уравнениями, описывающими задачу энергораспределения, должны быть уравнения балансов энергии в узлах и ветвях электрической сети. Показано, что данные уравнения сохраняют свою адекватность при любых схемных изменениях. Задача энергораспределения может решаться отдельно для потоков активной и реактивной энергии. Описаны отличия условий наблюдаемости задачи энергораспределения от классической задачи оценки состояния. Рассмотрены вопросы выявления грубых ошибок измерений, локализации коммерческих потерь электроэнергии для конкретных измерительных комплексов.

Ключевые слова: электрические сети, оценивание состояния, режим, энергораспределение, потери энергии, наблюдаемость, плохие данные

A new approach to analyzing the power operating modes of electric networks called the energy flow calculation is considered. By solving this problem one can obtain a balanced model for distribution of electric energy flows and losses on the network graph. Evidence is given to the fact that nonrecoverable imbalances arise when operating modes are modeled with the use of conventional equations describing steady state operating conditions. Correlations describing the energy flow problem must be in the form of energy balance equations in electric network nodes and branches. It is shown that these equations retain their adequacy when any changes take place in the network circuit configuration. The energy flow problem can be solved separately for the flows of active and reactive energy. Aspects in which the energy flow observability conditions differ from those used in the classic state estimation problem are also described. Matters concerned with revealing gross measurement errors and localizing commercial energy losses for particular measurement systems are considered.

Key words: state estimation, modeling of operating conditions, energy flow distribution, technical energy loss, commercial energy loss, observability, poor data

Паздерин Андрей Владимирович окончил электротехнический факультет Уральского политехнического института (УПИ – ныне Уральский Федеральный университет – УрФУ) в 1982 г. В 2005 г. защитил докторскую диссертацию в Уральском государственном техническом университете (УГТУ–УПИ). Заведующий кафедрой «Автоматизированные электрические системы» (АЭС) УрФУ.

Егоров Александр Олегович окончил электротехнический факультет УПИ в 2003 г. В 2008 г. защитил кандидатскую диссертацию в УГТУ–УПИ. Доцент кафедры АЭС УрФУ.

Кочнева Елена Сергеевна окончила магистратуру кафедры АЭС УрФУ в 2010 г. Ассистент кафедры АЭС УрФУ.

Самойленко Владислав Олегович окончил магистратуру кафедры АЭС УрФУ в 2012 г. Инженер кафедры АЭС УрФУ.

Pazderin Andrei Vladimirovich graduated from Electrical engineering department of the Ural Politechnical Institute (UPI – now Ural Federal University – UrFU) in 1982. In 2005 he received the degree of Doctor Techn. Sci. He is a Head of the Department «Automated Electrical systems (AES) at the UrFU.

Yegorov Aleksandr Olegovich graduated from Electrical engineering department of the UPI in 2003. In 2008 he received the degree of Cand. Techn. Sci. He is a associate professor of the department AES at the UrFU.

Kochneva Elena Sergeyevna graduated from the Magistracy of the department AES at the UrFU in 2010. She is a Assistant of department AEC at the UrFU.

Samoilenko Vladislav Olegovich graduated from the Magistracy of the department AES at the UrFU in 2012. He is a Engineer of the department AES at the UrFU.

Принцип формирования оценки технического состояния электрооборудования на подстанциях

ХАЛЬЯСМАА А.И., ДМИТРИЕВ С.А., КОКИН С.Е., ГЛУШКОВ Д.А., ОСОТОВА М.В.

The Principle for Forming an Assessment of Electrical Equipment Technical State at Substations

A.I. HAL'YASMAA, S.A. DMITRIEV, S.E. KOKIN, D.A. GLUSHKOV, and M.V. OSOTOVA

В настоящее время система оценки технического состояния (ОТС) высоковольтного оборудования на подстанциях (ПС) является основной составляющей систем управления техническими активами электросетевого предприятия и внедряется с целью снижения издержек на эксплуатацию, ремонты, мониторинг и диагностику данного оборудования. Вопрос ОТС электрооборудования на ПС является одной из актуальных задач для электросетевого комплекса в России. Это связано с тем, что большая часть оборудования на ПС используется сверх своего нормативного срока эксплуатации, что приводит к ухудшению стабильности показателей качества оборудования и требует повышенного внимания при эксплуатации и применения различных методов контроля его состояния. Рассмотрены вопросы формирования принципов оценки технического состояния высоковольтного оборудования на подстанциях для автоматизированных систем управления техническими активами сетевых предприятий. Представлен механизм создания гибридной сети на основе методов нечеткой логики и искусственных нейронных сетей. Рассмотрена методология определения технического состояния высоковольтного оборудования на основе функций принадлежности.

Ключевые слова: сетевые компании, гибридные сети, оценка технического состояния, функция принадлежности

At present, the system for estimating the technical state of high-voltage equipment at substations is the main component of systems for managing the technical assets of an electric network enterprise and is put in use in order to reduce the costs for operation, repairs, monitoring, and diagnostics of this equipment. The question of assessing the technical state of electrical equipment at substations is one of topical issues for the electric network facilities in Russia. This is connected with the fact that the major part of equipment at substations is used beyond its assigned service life. As a result, the equipment quality indicators become less stable; more attention has to be paid to equipment during its operation, and various methods for monitoring the state of equipment must be applied. Matters concerned with establishing the principles for estimating the technical state of high-voltage equipment at substations for computer-aided systems of managing the technical assets of network enterprises are considered. A mechanism for setting up a hybrid network using the methods of fuzzy logic and artificial neural networks is presented. A methodology for determining the technical state of high-voltage equipment on the basis of membership functions is considered.

Key words: assessment of technical state, network companies, hybrid networks, membership function

Хальясмаа Александра Ильмаровна в 2008 г. окончила электротехнический факультет Уральского государственного технического университета – УПИ (УГТУ–УПИ). Аспирант, ассистент кафедры «Автоматизированные электрические системы» Уральского федерального университета (УрФУ).

Дмитриев Степан Александрович в 2002 г. окончил электротехнический факультет УГТУ–УПИ. В 2007 г. защитил кандидатскую диссертацию «Мониторинг системы электроснабжения мегаполиса на основе объектно-ориентированной графовой модели». Доцент кафедры «Автоматизированные электрические системы» УрФУ.

Кокин Сергей Евгеньевич в 1978 г. окончил электротехнический факультет Уральского политехнического института. В 2014 г. защитил докторскую диссертацию «Энергоинформационные модели функционирования и развития систем электроснабжения больших городов». Заместитель директора по науке и инновациям кафедры «Автоматизированные электрические системы» УрФУ.

Глушков Даниил Александрович в 2007 г. окончил электротехнический факультет УГТУ–УПИ. Старший преподаватель кафедры УрФУ.

Осотова Марина Викторовна в 1996 г. окончила электротехнический факультет УГТУ–УПИ. Заместитель главного инженера по развитию филиала ОАО «МРСК Урала» – «Сверловэнерго».

Khal'yasmaa Aleksandra Il'marovna (Ekaterinburg, Russia) graduated from the Electrical engineering department of the Ural State Technical University (USTU–UPI) in 2008. She is a postgraduated student and assistant in the department «Automated electrical systems» (AES), the Ural Federal University (UrFU).

Dmitriyev Stepan Aleksandrovich (Ekaterinburg, Russia) graduated from the Electrical engineering department of the USTU–UPI in 2002. In 2007 he received the degree Cand. Techn. Sci. He is a Associate Professor in the Department AES, the UrFU.

Kokin Sergei Yevgen'yevich (Ekaterinburg, Russia) graduated Electrical engineering department of the Ural Polytechnic Institute in 1978. In 2014 he received the degree Doctor Techn. Sci. He is a Deputy Head of the Department AES, the UrFU.

Glushkov Daniil Aleksandrovich (Ekaterinburg, Russia) graduated from the Electrical engineering department of the USTU–UPI in 2007. He is senior lecturer in the Department «High voltage technique» of the UrFU.

Osova Mirina Viktorovna (Ekaterinburg, Russia) graduated of the USTU–UPI in 1996. She is a Chief engineer in JSC «MRSK Ural – Sverdlovenergo».

Оптимизационный сравнительный анализ структур статических электромагнитных систем. Ч. 2. Примеры структур и результатов преобразований

СТАВИНСКИЙ А.А., СТАВИНСКИЙ Р.А., АВДЕЕВА Е.А.

Optimization Comparative Analysis of Structure of Static Electromagnetic Systems. Part. 2. Examples of Structures and Transformation Results

A.A. STAVINSKII, R.A. STAVINSKII, E.A. AVDEYEVA

Одним из способов усовершенствования трансформаторов и реакторов различного назначения является преобразование структур их электромагнитных систем. Используемое в подводных и космических аппаратах электрооборудование размещается в цилиндрических и сферических оболочках ограниченных диаметров. Приведены примеры подводных аппаратов и вариантов нетрадиционных конструктивных схем активной части компактных трансформаторов. Взамен тороидальных компонент групповых трансформаторов, устанавливаемых в трубчатых оболочках, предлагаются однофазные трехстержневые трансформаторы с шихтованными и витыми магнитопроводами. Максимальное приближение контурного объема трехфазной электромагнитной системы к цилиндру и сфере достигается симметричным пространственным расположением и нетрадиционными конфигурациями ее элементов. Представлены нетрадиционные конструкции пространственных однофазных и трехфазных аксиальных и радиальных электромагнитных систем с витыми и шихтованными магнитопроводами. Трехфазный пространственный радиальный магнитопровод может быть выполнен шихтованным или витым соответственно с ромбическими и секторными обмоточными окнами. Ромбические обмоточные окна образуются формированием магнитопровода из двух параллелограммных конфигураций различной длины или из шевронной и двух параллелограммных конфигураций пластин электротехнической стали. На основе метода относительных показателей технического уровня и геометрических относительных управляемых переменных выполнен оптимизационный сравнительный анализ массосистемных показателей вариантов трехфазной пространственной радиальной электромагнитной системы, отличающихся прямоугольными и шестигранными сечениями стержней витого трехсекционного магнитопровода. Такая конструкция позволяет снизить массу и стоимость активной части трансформатора или реактора до 78,2% и 1113,6% соответственно относительно традиционной конструкции с прямоугольными внешним контуром и сечениями стержней магнитопровода.

Ключевые слова: трансформатор, реактор, электромагнитная система, контурный объем, оптимизация, массосистемные показатели

One of the ways to improve transformers and reactors of various purpose is to transform the structures of electromagnetic systems. Electrical equipment used in underwater and spacecraft locate in cylindrical and spherical shells of limited diameter. The examples of underwater vehicles and unconventional variants of constructive schemes of the active part of compact transformers are given. Instead toroidal component group of transformers installed in the tubular membranes, three-rod single-phase transformers with laminated and twisted magnetic cores are offered. Maximal approximation of contour volume of three-phase electromagnetic system to the cylinder and sphere is achieved with symmetric spatial arrangement and unconventional configurations of its elements. Unconventional designs of spatial single-phase and three-phase axial and radial electromagnetic systems with twisted and laminated magnetic cores are presented. Three-phase spatial radial magnetic core can be made laminated or twisted respectively with rhombic and sectorial coil windows. Rhombic coil windows formed by forming of magnetic core from two parallelogram configurations with different length, or from chevron and two parallelogram configurations of electrical steel plates. On the basis of technical level relative indicators method and geometrical relative controlled variables the optimization comparative analysis of mass and value indicators of three-phase spatial radial electromagnetic system variants, which are different in rectangular and hexagonal rods sections of twisted three-section magnetic core is made. This design reduces to 78,2% and 1113,6%, respectively, weight and cost of the

active part of transformer or reactor with respect to traditional design with rectangular outer contour and rods sections of the magnetic core.

Key words: transformer, reactor, electromagnetic system, the contour volume, optimization, mass and value indicators

Ставинский Андрей Андреевич окончил в 1975 г. электромеханический факультет Одесского политехнического института. В 1993 г. защитил докторскую диссертацию в Московском энергетическом институте по специальным и энергоресурсосберегающим асинхронным двигателям. Заведующий кафедрой «Судовые электроэнергетические системы» Национального университета кораблестроения (НУК) им. Адмирала Макарова (г. Николаев, Украина).

Ставинский Ростислав Андреевич окончил в 2000 г. электротехнический факультет НУК. В 2004 г. В Одесском национальном политехническом университете защитил кандидатскую диссертацию «Пространственные трансформаторы с эффективным использованием конструктивного объема». Заведующий кафедрой энергетики Николаевского национального аграрного университета.

Авдеева Елена Андреевна окончила в 2006 г. Институт автоматики и электротехники НУК. Аспирант института автоматики и электротехники НУК.

Stavinskii Andrei Andreyevich graduated from the Odessa National Polytechnic University in 1975. In 1993 he received the degree of Doctor Techn. Sci. from the Moscow Power Engineering Institute. He is a Head of Department «Ship electric power systems of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding (NUS) (Nikolaev, Ukraine).

Stavinskii Rostislav Andreevich graduated from electrical engineering department of the NUS. In 2004 he received the degree of Cand. Techn. Sci. from the Odessa National Polytechnic University. He is Head of the Energy Department of the NUS.

Avdeyeva Elena Andreyevna graduated from the NUS. In 2006 she is a Ph. D. Student of the NUS.

Определение параметров схем замещения и характеристик асинхронных двигателей

СИВОКОБЫЛЕНКО В.Ф., ТКАЧЕНКО С.Н., ДЕРКАЧЕВ С.В.

Determining the Parameters of Equivalent Circuits and Characteristics of Induction Motors

V.F. SIVOKOBYLENKO, S.N. TKACHENKO and S.V. DERKACHEV

Разработан метод определения по каталожным данным параметров эквивалентной схемы замещения асинхронного двигателя (АД), в которой вытеснение тока в роторе учитывают с помощью двух включенных параллельно активно-индуктивных контуров, а потери в стали – с помощью короткозамкнутого контура на статоре. Параметры находят из решения нелинейной системы уравнений, составленной для условий совпадения каталожных данных и рассчитанных по схеме замещения. Приведены математические модели АД, в которых найденные параметры схемы замещения используются для определения рабочих и динамических характеристик двигателя в различных режимах. Расчеты, проведенные для асинхронных двигателей различного типа, показали практически полное совпадение расчетных и каталожных данных, подтвердив

высокую эффективность предложенного метода. В статье это показано на примере асинхронного двигателя типа ДАМСО 148-8.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, параметры схемы замещения, потери в стали, эффект вытеснения тока, система уравнений

The article presents a method for determining the parameters of an inductor motor (IM) equivalent circuit based on the catalogue data, in which the displacement of current in the rotor is taken into account using two parallel-connected RL-circuits, and the iron losses are taken into account using a short-circuited loop on the stator. The parameters are found from the solution of a nonlinear system of equations written subject to coincidence of catalogue data with those calculated from the equivalent circuit. The IM mathematical models are presented in which the found equivalent circuit parameters are used for determining the operating and dynamic characteristics of the motor in different modes of its operation. The calculations carried out for different types of induction motors have shown that the calculated data coincide with the catalogue data almost completely, which serves as confirmation of high efficiency of the proposed method. In the article, this is demonstrated taking a DAMSO 148-8 asynchronous motor as an example.

Key words: induction motor, equivalent circuit parameters, iron losses, current displacement effect, system of equations

Сивокобыленко Виталий Федорович закончил электроэнергетический факультет Харьковского политехнического института в 1957 г. В 1986 г. защитил докторскую диссертацию «Математическое моделирование и оптимизация переходных процессов в многомашинных системах электроснабжения электрических станций и промышленных установок» в Московском энергетическом институте. Заведующий кафедрой «Электрические станции» Донецкого национального технического университета (ДонНТУ).

Ткаченко Сергей Николаевич закончил электротехнический факультет ДонНТУ в 2004 г. В 2010 г. защитил кандидатскую диссертацию «Тепловая защита короткозамкнутого ротора асинхронного электродвигателя на основе контроля параметров текущего режима» в ДонНТУ. Декан немецкого технического факультета ДонНТУ.

Деркачев Сергей Владимирович закончил электротехнический факультет ДонНТУ в 2013 г. Аспирант кафедры «Электрические станции» ДонНТУ.

Sivokobylenko Vitalii Fedorovich (Donetsk, Ukraina) – Doctor Techn. Sci., Head of the Department «Electrical Power Stations», Donetsk National Technical University (DonNTU).

Tkachenko Sergei Nikolayevich (Donetsk, Ukraina) – Cand. Techn. Sci., Head of the German Technical Department DonNTU.

Derkachev Sergei Vladimirovich (Donetsk, Ukraine) – Ph. D. Student, DonNTU.

Электрические рулевые приводы на базе синхронных агрегатов

КАРЖАВОВ Б.Н.

Steering Wheel Electric Drives Constructed on the Basis of Synchronous Machine Sets

B.N. KARZHAVOV

Рассматриваются актуальные вопросы, связанные с улучшением технических характеристик рулевых электроприводов летательных аппаратов и особенностями их проектирования на основе синхронных электрических машин с магнитоэлектрическим возбуждением. Приведены примеры технической реализации рулевых электроприводов с синхронными электрическими машинами, отражающими предложенные в статье принципы их построения и подтверждающими достоверность методик их расчета.

Ключевые слова: рулевой электропривод, летательный аппарат, синхронный двигатель, синхронный генератор, исполнительный механизм, методика расчета, примеры технической реализации

Topical matters relating to improvement of the technical characteristics of steering-wheel electric drives used in aircraft and the specific features of working out their designs on the basis of magnetoelectrically excited synchronous machines are considered. Technical requirements imposed on steering-wheel electric drives are presented. The effect the overall dimensions of the actuator motor have on its quality factor and the effect the design features of the synchronous machine have on its power capacity are considered. Application of a synchronous machine rotor's discrete position sensor as a rotation frequency sensor for a synchronous generator equipped with resistive-switch converters controlled by the output voltage is substantiated. Principles for generating stepped quasi sine-wave phase currents in the synchronous machines used in steering-wheel electric drives are proposed. Specific features relating to technical implementation of the information and power parts of an electric drive constructed on the basis of two- and three-phase synchronous machines are considered. Examples illustrating technical implementation of steering-wheel electric drives on the basis of synchronous machines reflecting the proposed principles of their development and confirming the validity of their calculation procedures are given.

Key words: steering-wheel electric drive, aircraft, synchronous motor, synchronous generator, actuator, calculation procedure, examples of technical implementation

Каржавов Борис Николаевич окончил радиотехнический факультет Московского электротехнического института связи в 1957. В 1990 г. защитил докторскую диссертацию «Приборы и устройства систем управления и специальных электроприводов». Главный научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института автоматики и гидравлики.

Karzhavov Boris Nikolayevich (Moscow, Russia) – Doctor of Techn. Sci., Chief Scientific Researcher, the Automatics and Hydraulics Centre Scientific Institute.

Вектор Пойнтинга и новая теория трансформатора. Ч. 2

ШАКИРОВ М.А.

The Poynting Vector and a New Theory of Transformers. Part 2

M.A. SHAKIROV

Представлена новая формула (модель) принципа действия силового трансформатора, вытекающая из характера распределения вектора Пойнтинга в промежутке между его первичной и вторичной обмотками. На базе этого принципа получены развернутые 4Т-образные схемы замещения и векторные диаграммы с локализациями на них всех магнитных потоков в окне и стали трансформатора. Подтверждена достоверность возникновения как при установившемся, так и при внезапном коротком замыкании одной из обмоток, одновременно в различных частях магнитопровода сверх- и антипотоков. Делается вывод о необходимости пересмотра теории трансформатора. Это утверждение предопределено работами многих авторов, выступавших с критикой его Т- и П-образных схем замещения. В данной статье показано, что решение проблемы возможно только при более глубоком понимании физических основ работы трансформатора.

Ключевые слова: трансформатор, первичная и вторичная обмотки, магнитный поток, векторная диаграмма, схема замещения, короткое замыкание, напряженность магнитного поля, напряженность электрического поля

A new formula (model) describing the operating principle of a power transformer is presented, which follows from the Poynting vector distribution pattern in the gap between the transformer's primary and secondary windings. Developed 4E-shaped equivalent circuits and vector diagrams containing localized values of all magnetic fluxes in the magnetic core aperture and in the transformer iron have been obtained proceeding from this principle. It is confirmed that superfluxes and antfluxes really emerge simultaneously in different parts of the magnetic core during both steady and abrupt short-circuit faults in one of the windings. A conclusion is drawn about the need to revise the transformer theory. This statement was predetermined by works of many researchers criticized the T- and Pi-shaped equivalent networks of a transformer. It is shown that the problem can be solved only through gaining a deeper insight in the physical principles of transformer operation.

Key words: transformer, primary and secondary windings, magnetic flux, vector diagram, equivalent circuit, short-circuit fault, magnetic field strength, electric field intensity

Шакиров Мансур Акмелович окончил электромеханический факультет Ленинградского политехнического института (ЛПИ, ныне Санкт-Петербургский государственный политехнический университет – СПбГПУ) в 1967 г. В 1980 г. защитил в ЛПИ докторскую диссертацию «Разработка общих основ общей теории преобразований сложных электрических схем и применение ее к диакопике цепей и электромагнитных полей. Профессор кафедры теоретических основ электротехники СПбГПУ.

Shakirov Mansur Akmelovich (St. Petersburg, Russia) – Doctor Techn. Sci. – Professor at the St. Petersburg State Polytechnical University.

Использование компьютерного моделирования в преподавании теории электромагнитного поля

БУТЫРИН П.А., ДУБИЦКИЙ С.Д., КОРОВКИН Н.В.

The Use of Computer Modeling in Teaching the Electromagnetic Field Theory

P. A. BUTYRIN, S. D. DUBITSKII, and N. V. KOROVKIN

Предложен обзор проблем, возникающих при преподавании теоретических основ электротехники. Отмечены особенности современного состояния электротехнического образования, которые приводят к необходимости пересмотра подхода к преподаванию курса «Теория электромагнитного поля». Обсуждается значение компьютерного моделирования электромагнитного поля в образовательном цикле инженера-электрика. Сформулированы цели, принципы и ограничения использования компьютерного моделирования в преподавании этой дисциплины.

Ключевые слова: теория электромагнитного поля, теоретическая электротехника, методика преподавания, программа расчета электромагнитных полей ELCUT, метод конечных элементов

A review of problems encountered in teaching the theoretical principles of electrical engineering is proposed. The specific features pertinent to the modern state of education to electrical engineering due to which a need arises to revise the approach to teaching the course of electromagnetic field theory are pointed out. The significance of electromagnetic field modeling on a computer in the education course of an electrical engineer is discussed. The objectives, principles, and limitations of computer modeling in teaching this discipline are formulated.

Бутырин Павел Анфимович – член-корреспондент Российской академии наук, заведующий кафедрой теоретических основ электротехники Московского энергетического института.

Дубицкий Семен Давидович – сотрудник ООО «Тор», разработчик программы ELCUT.

Коровкин Николай Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретических основ электротехники С.-Петербургского государственного политехнического университета.

Butyrin Pavel Anfimovich (Moscow, Russia) – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department «Theoretical Principles of Electrical Engineering», Moscow Power Engineering Institute.

Dubitskii Semen Davidovich (St. Petersburg, Russia) – Researcher of the LLC «Tor», creator of program «ELCUT».

Korovkin Nikolai Vladimirovich (St. Petersburg, Russia) – Doctor of Techn. Sci., Professor, Head of the Department «Theoretical Principles of Electrical Engineering», St. Petersburg State Polytechnic University.