

*Электротехника, 2015, №10, с. 3-6*

**Международный консорциум «Энергосбережение» – 20 лет разработок и внедрения нового электрооборудования для различных отраслей**  
БАРСКИЙ В.А.

*Электротехника, 2015, №10, с. 7-10*

**Новое электро- и климатическое оборудование для железнодорожного транспорта**  
АФЕНЧЕНКО Р.В., БАРСКИЙ В.А., ВЛАСЕНКО И.Н., ЕМЕЦ Е.А., КУРДЮМОВ Д.С., РОМАНОВ А.В., УФИМЦЕВ И.В., ФРИШМАН А.Е., ЧЕРЕМУХИН С.С.

В результате многолетних работ МК «Энергосбережение» (МКЭ) впервые созданы так называемые гибридные кондиционеры со встроенными преобразователями, системы электроснабжения вагонов с качественно улучшенными характеристиками, тяговые выпрямители нового поколения для основных типов тепловозов России и Украины, предложены решения для гибридных маневровых машин. Большая часть выполненных разработок доведена до серийного производства и внедряется на российских и украинских железных дорогах.

*Ключевые слова:* тяговый привод, тяговый выпрямитель, кондиционеры.

As a result the first so called “hybrid” air conditioners with embedded converters, new systems with drastically improved performance for powering of railway carriages, new traction rectifiers for main Russian and Ukrainian locomotives have been developed, the new solutions for hybrid shunting locomotives have been proposed. Most part of researches and designs is being implemented in the Russian and Ukrainian railways.

*Key words:* traction drive, traction rectifier, air conditioner.

*Электротехника, 2015, №10, с. 11-14*

**Автоматизированные станции испытания электрических машин**

АФЕНЧЕНКО Р.В., БАРСКИЙ В.А., КУРДЮМОВ Д.С., МАЛЯР А.В.

Испытания электрических машин на производстве и после ремонта – один из основных этапов производственного процесса, который напрямую оказывает влияние на качество продукции. Повышение автоматизации процесса испытаний вплоть до полного исключения влияния субъективного фактора до сих пор было нерешенной задачей. По заданию ЗАО «Трансмашхолдинг» и «Новочеркасского электровозостроительного завода» совместно с последним такая задача была решена для всей номенклатуры тяговых и вспомогательных электродвигателей, производимых этим заводом. Специфика методов испытаний электрических машин постоянного и переменного тока, которые регламентированы нормативной документацией, особенно в части создания нагрузочных режимов, определяет сложность построения силовых статических преобразовательных устройств и средств автоматизации стендов испытания машин постоянного и переменного тока. Режимы нагружения машин с применением схем взаимной нагрузки потребовали применения специальных исполнений силовых трансформаторов и преобразователей. Построение автоматизированных систем управления силовым оборудованием и, особенно, автоматизированных средств измерения электрических и механических параметров процесса испытания, потребовали создания комплексных систем, работающих по принципу «конвейера». При этом были соблюдены все требования техники безопасности, обеспечено удобство работы персонала с оборудованием и

минимизирован риск ошибочных действий, обеспечена приемлемая скорость проведения цикла испытания.

Работа Испытательной станции электрических машин в ООО «ПК «НЭВЗ» на протяжении нескольких лет подтвердила эффективность принятых решений. В статье приведен опыт разработки и создания электрооборудования и автоматических систем управления для автоматизированных стендов испытаний электрических машин, методы решения проблем при проектировании такого оборудования, примеры разного подхода к проектированию в зависимости от специфики производства. Приведены структурные схемы построения комплексов электрооборудования для промышленных испытаний тяговых электродвигателей.

*Ключевые слова:* электрические машины, испытания, статические преобразователи, автоматизация, система управления.

Testing electric machines after manufacturing or repairing is one of the basic steps of the production process and this process directly impacts on the final goods quality. Increasing of the testing automation level up to the complete elimination of the influence of the subjective factor has been an unsolved problem before now. According with order of ZAO «Transmashholding» and «Novocherkassk Electric Locomotive Plant» and with cooperation with the last one this task has been resolved for the whole range of traction and auxiliary motors produced by this plant. The specificity of the test methods for electric machines of direct and alternating current, which are regulated by the normative documents, especially for creating the load conditions, defines the complexity of the design of power static converter devices and test bench automation DC and AC machines. Mutual load method for loading modes of machines has required the implementation of special power transformers and converters with special design. Design of the automated control systems and power equipment, particularly automated measurements of electrical and mechanical parameters of the test process, has demanded the creation of complex systems that operate on a «conveyor belt». This has complied with all safety requirements, to provide convenience of the staff with the equipment and to minimize the risk of erroneous action, to ensure an acceptable speed of the test cycle. Work for several years of testing stations for electric machines «PC» NEVZ» Ltd. confirmed the effectiveness of the decisions taken. The paper presents the experience of the development and creation of electrical equipment and automatic control systems for automated test bench electric machines, methods of solving problems in the design of such equipment, examples of different approaches to the design depending on the specifics of production. The diagram of the construction of electrical systems for industrial test of traction motors.

*Key words:* electric machines, testing, static converters, automation, control system.

*Электротехника, 2015, №10, с. 15-16*

### **Устройства плавного пуска мощных турбомеханизмов и других механизмов, запускаемых вхолостую**

БАРСКИЙ В.А., БЫКАНОВ Р.А., КУРДЮМОВ Д.С.

Для исключения или снижения негативных последствий прямого пуска электродвигателя применяются устройства плавного пуска (УПП). В настоящее время большую популярность получили УПП, выполненные по схеме тиристорного регулятора напряжения, но их применение не всегда оправдано из-за высокой стоимости, сложности и необходимости применения дополнительного оборудования для работы при низких температурах. В статье предложен возможный способ решения этих проблем благодаря применению

простых и надежных устройств плавного пуска на пассивных элементах типа РУПП. Рассмотрены результаты разработки и создания серии таких устройств. Отличительными особенностями РУПП по сравнению с полупроводниковыми аналогами являются более простая конструкция, долговечность, возможность работы практически в любых условиях эксплуатации, а также меньшая стоимость и отсутствие требований к обслуживанию при эксплуатации.

*Ключевые слова:* электродвигатель, устройство плавного пуска, электропривод, механизм.

To eliminate or reduce the negative components of direct starting the motor, necessary apply the soft starter devices (SSC). Currently, the increasing popularity gained SSC, made under the scheme of thyristor voltage regulator. But their use is not always justified because of the high cost, complexity and the need to use additional equipment for operation at low temperatures. The article shows the possible way solve these problems through the use of simple and reliable soft starters devices type RUPP on passive elements. Reviewed the results the development and creation a series such devices. Distinctive features of RUPP, compared with semiconductor counterparts, are qualitatively more simple design, durability, ability to work practically in all operating conditions, as well as the lower cost and the absence of maintenance requirements during operation.

*Key words:* electric motor, soft starter, electric drive, mechanism.

*Электротехника, 2015, №10, с. 17-19*

#### **Электроприводы и источники с накопителями энергии для электроэнергетических систем с несоответствиями графиков генерации потребления**

БАРСКИЙ В.А., БАШТА В.Н., ВЛАСЕНКО И.Н., МАЛЯР А.В., ФРИШМАН А.Е.

Для многих регионов и стран характерна существенная разница графиков генерации и потребления электроэнергии на протяжении суток. В частности, это характерно для стран с высокой долей энергии, вырабатываемой АЭС – Франции (более 70%), Украины (более 50%) и др. В таких странах ночью имеется избыток, днем – недостаток энергии. Для накопления энергии применялись ГАЭС, имеющие высокую стоимость, большое время строительства и ввода в эксплуатацию, низкий КПД, отрицательно влияющие на окружающую среду. Для стимулирования потребителей к выравниванию графика потребления электроэнергии вводятся трехзонные тарифы с разницей в стоимости в 4 раза. Все возрастающее массовое производство аккумуляторных накопителей энергии создает предпосылки не только для революции в автотранспорте, но и в технике электропривода и в самой электроэнергетике. В статье показано, что если в состав круглосуточно работающих электроприводов встроить накопители энергии для заряда ночью, а в часы максимума питать от них двигатели, затраты на электроэнергию сокращаются в 1,5 раза. Проведенные расчеты по модернизации газотранспортной системы Украины с использованием накопителей электроэнергии показывают, что себестоимость транспортировки газа можно сократить на 20%. Более того, при использовании «зеленых» тарифов на запасенную ночью энергию, станет возможным для бизнеса и даже для частных лиц, вкладывать свои средства в приобретение таких систем, а для государства – это решение глобальной проблемы без затрат бюджетных средств.

*Ключевые слова:* электропривод, накопитель энергии, преобразователь частоты.

Many regions and countries are characterized by a significant difference graphs generation and consumption of electricity during the day. In particular, it is typical for countries with a high proportion of energy generated by nuclear power – France (70%), Ukraine (50%) and others. In

such countries, there is an excess of generation at night and during the day – a lack of energy. For energy storage used PHES – with high costs, long time of construction and commissioning, low efficiency, adversely affecting the environment. To encourage consumers to equalize the power consumption of the threezone tariffs are introduced to the difference in cost by 4 times. Mass production of storage batteries increases. This creates prerequisites for revolution not only in motor transport, but also in electric drive and electroenergetics. The article shows the following. If storage batteries built in to electric drives, working around the clock, you can charge the batteries at night. Electric motors should be powered from the batteries when a maximum loading of a power supply system a day. Costs for the electric power are reduced by 1,5 times. The calculations for the modernization of Ukrainian gas transport system with the use of energy storages show that the cost of transporting gas can be reduced by 20%. Moreover, it will be possible for business and even for individuals to invest their funds in the purchase of such systems, if the feedin tariff is used for the energy accumulated at night. *Key words:* electric drive, storage battery, frequency converter. And for the state it is the solution of a global problem without expenses of budgetary funds.

*Электротехника, 2015, №10, с. 20-22*

#### **Создание оборудования для безредукторных газотурбинных электростанций**

АФЕНЧЕНКО Р.В., БАРСКИЙ В.А., БАШТА В.Н., КУРДЮМОВ Д.С., МАЛЯР А.В., УФИМЦЕВ И.В.

В конструкторских газотурбинных электростанциях мощностью сотни и тысячи киловатт наметился новый тренд. Из электростанции исключается дорогостоящий редуктор и громоздкий генератор с частотой вращения 1500–3000 об/мин. Газотурбинный двигатель вращает генератор непосредственно без редуктора. Частоты вращения двигателя и генератора одинаковы. Генератор вырабатывает напряжение повышенной частоты, которое преобразуется в напряжение частоты 50 Гц при помощи полупроводникового преобразователя. Это упрощает электростанцию, повышает ее надежность, снижает стоимость. В настоящее время в составе таких электростанций применяют генераторы на постоянных магнитах. Они чувствительны к токовым авариям и перегревам. Для них требуются дорогие редкоземельные магниты и существенна проблема обеспечения механической прочности ротора при больших частотах вращения. В статье предлагается применять синхронно-реактивные генераторы, которые не имеют указанных недостатков. Управление генераторами осуществляется при помощи преобразователей частоты по специальному алгоритму. Представлены результаты испытаний макета системы с синхронно-реактивным генератором. Рассмотрены варианты электрических частей безредукторных электростанций на базе синхронно-реактивных генераторов. Показана возможность создания для газотурбинных электростанций высокооборотных (до 30000 об/мин) синхронно-реактивных генераторов.

*Ключевые слова:* безредукторная газотурбинная электростанция, высокооборотный генератор, преобразователь

There has been a new trend in the construction of gas turbine power plants with power output of hundreds and thousands kW. An expensive gearbox and a bulky generator with rotation speed of 1500-3000 rpm are excluded from a power plant. A gas turbine rotates a generator without a gearbox. Speeds of the gas turbine and the generator are equal. The generator produces a high frequency voltage, which is converted to the voltage with frequency of 50 Hz using a semiconductor converter. This solution simplifies the power plant, increases its reliability and reduces cost. Now permanentmagnet generators are used in the construction of such plants. They are sensitive to overcurrent and overheating. They require expensive rare

earth magnets and have a significant problem of ensuring the mechanical strength of the rotor at high speeds. In the article it is proposed to apply synchronous reluctance generators that do not have these drawbacks. The control of the generators is performed using frequency converters by a special algorithm. A test result of a model of a system with a synchronous reluctance generator is presented. Variants of electric parts of power plants based on synchronous reluctance generators are considered. The ability to create high speed (up to 30,000 rpm) synchronous reluctance generators for gas turbine power plants is shown. *Key words:* gearless gasturbine power plant, high speed generator, converter.

*Электротехника, 2015, №10, с. 24-27*

### **Расчет электрических полей в электротехнических установках высокого напряжения** КОВАЛЕВ Д.И.

Действие электрических полей является фактором, оказывающим неблагоприятное влияние на персонал и аппараты на энергообъектах. Для расчета электрических полей используются упрощенные модели. К настоящему времени разработано множество аналитических и численных методов расчета электрических полей. В большинстве случаев расчет электрических полей весьма сложен, и построение аналитического решения может потребовать грубых приближений, ведущих к значительным погрешностям. Поэтому большую роль приобретают численные методы. При использовании различных методов структуры исходных данных, необходимые для решения конкретных задач, могут быть различными, а кроме того, объем вычислений в различных методах может сильно различаться. Для различных систем, обеспечивающих безопасность в высоковольтных электроустановках, в частности, в ячейках комплектных распределительных устройств, необходимо контролировать электрические поля сложной конфигурации. Для предотвращения ошибочных действий персонала необходимы датчики, которые регистрируют напряженность электрического поля от отключенных линий, либо создаваемые в высоковольтных ячейках. Благодаря этому выясняется, идентифицируется объект, генерирующий электрическое поле, и способ размещения датчиков для регистрации. Большинство из имеющихся на сегодняшний день датчиков не оптимизированы под различные энергообъекты, в частности под высоковольтные ячейки. Рассмотрены основные этапы анализа и расчета электрических полей. Проведен упрощенный расчет распределения напряженности электрического поля в высоковольтной ячейке. Определены оптимальные места установки датчиков электрических полей, реагирующих на наличие или отсутствие напряжения на отдельных элементах высоковольтной ячейки.

*Ключевые слова:* электрические установки, электрические поля, расчет.

The impact of electric fields is a factor that negatively effects staff of power plants and its equipment. For calculation of the electric fields simplified models of calculation are used. Currently a variety of analytical and numerical methods for the calculation of electric fields are developed. In the most cases, the objects of the electric fields calculation are very complex, and the building up of the analytical solution may require rough approximations, leading to significant errors. Thus numerical methods acquire a huge role. When applying different methods structure of the data source needed for a specific task can vary significantly, moreover, the number of calculations in different methods may differ significantly. The calculation of electric fields in high voltage cells is of high practical importance. For different systems ensuring safety in high voltage electrical installations, in particular in cells of switchgear and control gear, it is necessary to control the electric field of a complex configuration. To

ensure the prevention of the erroneous actions of the personnel it is necessary to have sensors, which register the electric field intensity of a complex configuration from disconnected lines or generated in high voltage cells. As a result it turns out from what affects the electric field intensity and how the sensors to its registration are to be placed. Despite of the fact that currently exist sensors that react to electric fields intensity, the most of them are not optimized for various power facilities, in particular for high voltage cells that are not equipped with such sensors. Therefore, the main stages of the analysis and calculation of electric fields are considered. A simplified calculation of the distribution of electric field intensity in high voltage cell is conducted. The optimal locations for electric fields sensors, which react to the presence or absence of voltage on the individual elements of the high voltage cell, are determined.  
*Key words:* electric equipment, electric fields, calculation.

*Электротехника, 2015, №10, с. 28-33*

**Основные задачи управления качеством электроэнергии в активно-адаптивной сети**  
КАРТАШЕВ И.И., ТУЛЬСКИЙ В.Н., НАСЫРОВ Р.Р.

Рассмотрены задачи управления качеством электроэнергии в активно-адаптивной сети и параметрами электроэнергии при управлении режимами электрических сетей в условиях помех, вносимых источниками искажения напряжения и тока. Показано, что для распределительных сетей и получающих от них питание потребителей способы регулирования напряжения на трансформаторных подстанциях 110–220/10–20 кВ следует рассматривать как весьма актуальные. Приведены различные подходы, обусловленные различными целями в задачах управления качеством электроэнергии. При этом отдается предпочтение расчетно-измерительным методикам и приводятся примеры, где эти методики применимы. Для этого необходима разработка научно-технических основ создания устройств автоматики, управления и защиты для интеллектуальных электрических сетей с алгоритмами автоматической адаптации к изменениям топологии и параметров режимов электрических сетей с использованием моделирования электрических сетей, функционирующих на основе применения современных технологий управления. Это позволит исследовать активно-адаптивное воздействие на параметры режима распределительной сети при различном характере нагрузки и ее удаленности от центра питания. Дано описание алгоритма управления РПН силовых трансформаторов 110–220/10–20 кВ. Подход к управлению РПН основан на обеспечении срабатывания РПН с прямым учетом его остаточного ресурса, кроме того распределение переключений с течением времени должно зависеть от графика нагрузки: в часы, когда нагрузка имеет ровный график, РПН «накапливает» ресурс, когда график нагрузки существенно изменяется во времени, РПН срабатывает чаще. Таким образом обеспечивается более эффективное использование остаточного ресурса РПН для активно-адаптивной системы регулирования напряжения.

*Ключевые слова:* управление качеством электроэнергии, расчетно-измерительные методы, алгоритм управления РПН, мониторинг.

The tasks of power quality management in smart grids and control of parameters of power during mode control in electrical grids in disturbant environment caused by sources of current and voltage distortions are considered. It is shown that in operation conditions as being relevant to the distribution grids and consumers ways to control voltage at transformer substations 110–220/10–20 kV should be considered. Different approaches are presented determined by different objectives in the tasks of power quality control. At the same time preference is given to calculation and measurement methods and examples where these

methods are applicable are shown. This requires development of scientific and technical basis for creation of automatic devices for control and protection for smart grids with algorithms of automatic adaptation to changes in the topology and mode parameters of electrical grids using simulation of electrical grids operation on the basis of modern control technologies. This will allow to explore the smart effect on the mode parameters of distribution grids with different load type and its distance from the main substation. The paper describes OLTC control algorithm for power transformers 110–220/10–20 kV. The basis of the proposed approach to OLTC control is two requirements: first – providing OLTC response considering its remaining life expectancy; second – distribution of OLTC switching over time should be related and depend on the load curve: during the hours when the load profile is smooth OLTC «accumulates» its life expectancy and works more often when the load curve changes significantly over time. Thus, a more efficient use of remaining life expectancy of OLTC for smart voltage control system is provided.

*Key words:* power quality control, combined computational and metering methods, OLTC control algorithm, monitoring.

*Электротехника, 2015, №10, с. 34-39*

### **Проектирование линейного электромеханического преобразователя активной подвески автомобиля**

КЛИМЕНКО Ю.И., БАТИЩЕВ Д.В., ПАВЛЕНКО А.В., ГРИНЧЕНКОВ В.П.

В статье рассматривается методика проектирования электромеханического преобразователя – реактивного индукторного линейного двигателя (РИЛД), который может быть использован в качестве амортизатора в активной подвеске электромобилей и гибридных машин. Предложена методика проектного расчета модуля цилиндрически симметричного РИЛД для автомобильной подвески. Для предложенной конструкции приведены расчетные формулы, определяющие геометрические параметры, выбраны форма якоря, размеры воздушного зазора, шаг двигателя, параметры обмотки. Разрабатываемый модуль электромеханического преобразователя имеет форм-фактор соленоида с незамкнутой магнитной системой со свободным выбегом якоря. Исходя из этого, при выборе и определении геометрических размеров элементов модуля оперировали квазиоптимальными соотношениями основных размеров магнитопровода. Обоснован выбор повышенного питающего напряжения. Для проверки и уточнения представленной методики проектирования выполнено моделирование спроектированного модуля с использованием численных методов расчета магнитного поля и специальных расчетных моделей. Результаты расчетов и моделирования показали хорошее качественное и количественное совпадение. По результатам моделирования выбрана конструкция модуля с гладким неоднородным якорем.

*Ключевые слова:* электромеханический преобразователь, активная подвеска автомобиля, реактивный индукторный линейный двигатель, магнитная система, методика проектирования

The paper presents questions of designing an electromechanical actuator – reactive inductor of the linear motor (RILM), which can be used as a shock absorber in the active suspension of electric and hybrid vehicles. A method for design calculation of module of RILM with tubular form for automotive suspension is proposed. For the proposed design shows the formulas that determine the geometric parameters are selected an anchor form size of the air gap, a motor step and winding parameters. The developed module of the electromechanical actuator has a form factor of the solenoid with an open magnetic system without stopper. On

this basis the selection and determination of the geometric dimensions of the elements of the module operated quasioptimal ratios of the main dimensions of the magnetic circuit. The choice of high supply voltage is substantiated. In order to test and refine the presented methodology of the design the simulation of designed module using numerical methods of calculation of the magnetic field and special calculation models is performed. The results of calculations and simulations showed good qualitative and quantitative agreement. As a result of the simulation is selected module design with a smooth heterogeneous anchor.

*Key words:* electromechanical actuator, vehicle active suspension system, linear switched reluctance motor, magnetic system, methodology design.

*Электротехника, 2015, №10, с. 40-44*

### **Методика определения технологических параметров электронных пучков в сварочных электронных пушках**

ГОНЧАРОВА.Л., ДРАГУНОВ В.К., ЩЕРБАКОВА.В., ТЕРЕНТЬЕВ.В., ПОРТНОВ М.А., ЧУЛКОВ И.С.

Показана возможность определения технологических параметров электронных пучков мощностью до 6 кВт и энергией 60 кэВ, применяемых в сварочных электроннолучевых комплексах, по световому излучению из пространства дрейфа. Описана методика получения изображения с использованием цифровой фотокамеры. Показано, что обработка регистрируемого изображения позволяет получить информацию о внутреннем строении электронного пучка. Получена зависимость дистанции фокусировки от тока магнитной фокусирующей линзы. Выявлены особенности распределения плотности тока по сечению пучка. Установлено, что характер распределения плотности тока в пучке в значительной мере зависит от режима нагрева основного катода. Предлагаемый способ оценки параметров электронных пучков может использоваться для контроля работы технологического оборудования, например, для оценки точности юстировки пушки, а также состояния катода по характеру распределения плотности мощности. Полученные зависимости параметров пучка от режима работы электронной пушки могут быть использованы при выборе параметров технологического процесса для сокращения объема работ по экспериментальной отработке режимов сварки.

*Ключевые слова:* электронный пучок, электронно-лучевая сварка, плотность мощности, диагностика, свечение, вакуум.

The possibility of technological parameters estimation of electron beams with up to 6 kW power and 60 keV energy, being used in welding electron beam installations, by means of light radiation parameters in drift space. The digital photo camera assisted method of image obtaining is described. The possibility of receiving the information about an electron beam interior structure using the analysis results of registered image is shown. The relation between focusing coil current and focusing distance is obtained. The characteristics of electron beam cross section energy density distribution are revealed. It is determined, that cross section energy density distribution strongly depends on major cathode heat regime. The proposed method of estimating the electron beams parameters can be used for the process equipment operation controlling, for example, to assess gun alignment accuracy and the cathode state by distribution of power density. The obtained dependence of the beam parameters on the electron gun operating mode can be used for selecting process parameters to reduce the amount of work on experimental optimization of welding conditions.

*Key words:* electron beam, electron beam welding, energy density, diagnostics, luminescence, vacuum.



*Электротехника, 2015, №10, с. 45-54*

### **Электромагнитные и электромеханические процессы в регулируемом электроприводе циркуляционного насоса с двухскоростным асинхронным двигателем**

ЛАЗАРЕВ Г.Б., НОВАКОВСКИЙ А.Н., СУЛТАНОВ А.Т.

Электроприводы с плавно изменяемой частотой вращения для регулирования главных циркуляционных насосов атомных станций обеспечивают надежную работу реакторной установки в различных эксплуатационных режимах, в том числе на частичных уровнях нагрузки энергоблоков. Использование в таких электроприводах мощных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором и напряжением статора 6000 В обусловило применение для управления их частотой вращения преобразователей среднего напряжения с регулируемой выходной частотой. Одно из рациональных технических решений, обеспечивающее эксплуатационную надежность и безопасность реакторной установки, – применение в электроприводе главных циркуляционных насосов первого контура реактора асинхронного двигателя с двумя независимыми обмотками на статоре: основной, на напряжение 6000 В, подключаемой к преобразователю частоты, и дополнительной низковольтной, подключаемой в режимах «обесточивания» собственных нужд энергоблока к сети аварийного электроснабжения, формируемой дизель-генераторной установкой. Использование в регулируемом электроприводе циркуляционного насоса двухскоростного асинхронного двигателя определило необходимость исследований электромеханических и электромагнитных процессов в режимах управления по его основной и дополнительной обмоткам статора. Эти режимы моделировались на математических моделях и на полномасштабном гидравлическом стенде для испытаний циркуляционных насосов. В статье приведены основные результаты исследований электромагнитных и электромеханических процессов в электроприводе с двухскоростным асинхронным двигателем 5000 кВт, 6 кВ, примененном для управления режимами главных циркуляционных насосов реакторной установки энергоблока 800 МВт.

*Ключевые слова:* реакторная установка, главный циркуляционный насос, двухскоростной асинхронный двигатель, преобразователь среднего напряжения с регулируемой частотой, электромагнитные и электромеханические процессы.

Use of electric drives with smoothly changeable frequency of rotation for regulation of the main circulation pulsers allows to ensure reliable functioning of reactor installation in the operational modes, at the partial levels of loading of power units, to reduce losses of the electric power. Use in the electric drive of circulation pulsers of powerful asynchronous engines with a short-circuited rotor with tension of the stator of 6000 V caused application for management them frequency rotations of converters of average tension with an adjustable output frequency. One of rational technical solutions ensuring operational reliability and safety of reactor installation is application in the electric drive of the main circulation pulsers of the first contour of the reactor of the asynchronous engine with two independent windings on the stator: the main, the frequency which is carried out on tension 6000V, connected to the converter, and additional low-voltage, connected in the modes «deenergizations of own needs of the power unit on the network of emergency power supply formed by diesel-generator installation. Use in the adjustable electric drive of the circulation pulser of the 2-speed asynchronous engine defined need of researches of the processes formed in control modes on its main and additional windings of the stator which were modelled on mathematical models and at the full-scale hydraulic stand for tests of circulation pulsers. In article the main results of researches of electromagnetic and electromechanical processes are given in the electric drive

with the 2-speed asynchronous engine of 5000 kW, 6 kV used to management of the modes of the main circulation pulsers of reactor installation of the power unit of 800 MW.

*Key words:* reactor installation, main circulation pulser, 2-speed asynchronous engine, converter of average tension with an adjustable frequency, electromagnetic and electromechanical processes.

*Электротехника, 2015, №10, с. 55-59*

### **Исследование сил одностороннего магнитного притяжения якоря соленоидного электромагнита**

НЕЙМАН Л.А.

Для заданного диапазона предельных отклонений размеров элементов конструкции соленоидного электромагнита исследуется усилие одностороннего магнитного притяжения якоря, возникающее вследствие неравномерности магнитного потока в областях, занятых нерабочими зазорами. Это особенно актуально для низкочастотных машин и устройств виброударного действия с электромагнитным приводом. Частота хода якоря таких устройств достигает  $50 \text{ с}^{-1}$  и сопровождается большими потерями на трение. С помощью конечно-элементного моделирования магнитного поля в программе Finite Element Method Magnetics дана количественная оценка сил одностороннего магнитного притяжения якоря при нарушении конструктивной симметрии соленоидного электромагнита. Приведено сравнение отдельных компонент этого усилия, возникающего вследствие неоднородности магнитного поля, сосредоточенного в объеме нерабочего зазора полюсной системы и в объеме, занятом катушкой возбуждения. С учетом заданных допусков и предельных отклонений размеров для реальных соотношений зазоров и смещений якоря показано, что усилие одностороннего магнитного притяжения и его отдельные компоненты могут быть сопоставимы с движущим усилием в рабочем зазоре. Для повышения точности при динамических расчетах показана необходимость учета неравномерности магнитного поля и составляющей усилия одностороннего магнитного притяжения якоря областей, занятых катушкой.

*Ключевые слова:* соленоидный электромагнит, двухмерное моделирование магнитного поля, сила одностороннего магнитного притяжения, предельные отклонения размеров, конструктивная несимметрия магнитопровода

Armature onside magnetic attraction force is studied for the given range of maximum deviations of elements dimensions in the solenoid electromagnet construction. This force is caused by magnetic flux irregularity in areas occupied by nonspecific gaps. The mentioned force consideration is especially actual for low frequency machines and vibratory impact devices with an electromagnetic drive. Armature travel frequency of such devices achieves  $50 \text{ s}^{-1}$  at high friction losses. The armature onside magnetic attraction forces, when solenoid electromagnet construction symmetry is impaired, are numerically estimated with the magnetic field simulation finite element method in the Finite Element Method Magnetics (FEMM) software. As it is shown, the armature onside magnetic attraction force and it's components are comparable with a driving force in the specific gap under a given range of the extreme deviations of the real armature gaps and drifts. To improve dynamic design accuracy it is necessary to take into account irregularity of magnetic field and appearance of armature magnetic attraction force component in the areas occupied by the inductor.

*Key words:* solenoid electromagnet, magnetic field 2D-simulation, one way magnetic attraction force, dimensions extreme deviations, magnetic core construction asymmetry

*Электротехника, 2015, №10, с.60-67*

**Исследование особенностей локализации дефектов упругих подвесок сердечников статоров в мощных турбогенераторах**

КУЗНЕЦОВ Д.В.

Статья посвящена обнаружению дефектов и оценке технического состояния упругих подвесок сердечников статоров мощных турбогенераторов серии ТВВ с помощью специально разработанного инструментального метода контроля, основанного на исследовании частот свободных колебаний, возникающих в элементах системы подвески сердечника при их ударно-импульсном возбуждении. На примере турбогенераторов мощностью 300 МВт получены данные о пространственном распределении неисправностей с указанием участков подвески, наиболее подверженных возникновению дефектов. Проведен статистический анализ данных о повреждаемости подвесок, который позволил выявить факторы, оказывающие наиболее значимое влияние на местоположение дефектов. Выполнена оценка локальных и интегральных вероятностных характеристик повреждаемости упругих подвесок, проведен расчет доверительных границ для возможного числа дефектов, выявляемых на отдельно взятом генераторе и оценка соответствующего объема ремонтных мероприятий. Приведен практический пример использования указанных характеристик для локализации дефектов подвески при решении задачи ее online диагностирования.

*Ключевые слова:* турбогенератор, система крепления сердечника статора, дефекты, диагностика, ремонт.

In article topical issues of defects detection and assessment of stator cores elastic suspension systems technical condition of high power turbogenerators TVV series by means of specially developed tool control method are considered. This method is based on research of frequencies of the free fluctuations arising in elements of core suspension system at their shock and pulse excitement. On the example of the 300 MW turbogenerators data on spatial distribution of malfunctions with the indication of suspension system sites, the most subject to appearance of defects are obtained. The statistical analysis of collected data on damageability of suspension systems which allowed to reveal the factors having the most significant impact on location of defects is carried out. On the basis of results of generalization and the analysis of skilled data the assessment of local and integrated probabilistic characteristics of elastic suspension system damageability is executed, calculation of confidential borders for possible number of the defects revealed on separately taken generator and an assessment of the corresponding volume of repair actions is carried out. The practical example of use of the specified characteristics for localization of suspension system defects at the solution of a problem of its online diagnosis is given.

*Key words:* turbogenerator, stator core suspension system, defects, diagnostics, repair.

*Электротехника, 2015, №10, с. 68*

**Рецензия на книгу Розанова Ю.К., Рывкина С.Е., Чаплыгина Е.Е., Воронина П.А. «Основы силовой электроники: принципы работы, проектирование, расчетные формулы и приложения». М.: CRC Press, 2015.**

УТКИН В.И.