

*Электричество, 2015, №2, стр. 4-11*

**Оценка режимной надежности электроэнергетических систем на основе метода Монте-Карло**  
ДОМЫШЕВ А.В., КРУПЕНЕВ Д.С.

Рассматривается проблема оценки режимной надежности электроэнергетических систем (ЭЭС). Предлагается методика оценки режимной надежности с использованием метода Монте-Карло для формирования списка вероятных состояний электроэнергетической системы. Предложен алгоритм оценки режимной надежности, использующий параллельные вычисления. Для учета нерегулярных колебаний нагрузки потребителей используется нормальное распределение отклонений нагрузки. Для каждого полученного состояния ЭЭС проверяется его допустимость с точки зрения режима, а именно, проверяется возможность его существования, устойчивость и возможность динамического перехода. В результате оценки режимной надежности предлагается определять следующие показатели: вероятность безотказной (бездефицитной) работы потребителей электроэнергии, математическое ожидание дефицита мощности потребителей, двойственные оценки режимных параметров. Предложенная методика реализована в программном комплексе АНАРЭС. Показано сравнение предложенной методики с анализом надежности по критерию N-1.

*Ключевые слова:* электроэнергетическая система, режимы, оценка надежности, метод Монте-Карло, нормальное распределение, экспоненциальное распределение

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 2, pp. 4–11.*

**Estimating the Operational Reliability of Electric Power Systems Using the Monte-Carlo Method**  
A.V. DOMYSHEV and D.S. KRUPENEV

The problem of estimating the operational reliability of electric power systems (EPSs) is considered. A procedure is proposed for estimating the operational reliability using the Monte-Carlo method for forming the list of possible EPS states. An algorithm for estimating the operational reliability is proposed that uses parallel computations for taking into account irregular load fluctuations. For each of the obtained EPS states, its acceptability from the viewpoint of operating mode is checked, namely, the possibility of its existence, stability, and possibility of a dynamic transition are checked. The following indicators are proposed to be determined as a result of estimating the operational reliability: the probability of failure-free (deficit-free) operation of electricity consumers, mathematical expectation of undersupply of power to consumers, and dual estimates of operating parameters. The proposed procedure is implemented in the ANARES software system. A comparison between the proposed procedure and reliability analysis according to the N-1 criterion is shown.

*Key words:* electric power system, operating modes, reliability estimation, Monte-Carlo method, Gaussian distribution, exponential distribution

*Электричество, 2015, №2, стр. 11-17*

**Общий подход к решению проблемы обеспечения надежности электроснабжения потребителей**  
ШАРЫГИН М.В.

Рассмотрена проблема надежности электроснабжения потребителей, которая имеет сложные организационно-экономические причины. Анализ современной ситуации и истории проблемы показывает необходимость отказа от чистого нормативно-административного подхода в области регулирования отношений по надежности и перехода к экономически взаимовыгодным

отношениям энергокомпаний и потребителей, на что прямо указывает закон «Об электроэнергетике». Предложен новый концептуальный подход к решению проблемы надежности электроснабжения, заключающийся в комплексном внедрении двух систем: договорной системы взаимоотношений по надежности между субъектами электроэнергетики и потребителями, позволяющей найти: оптимальные уровни надежности, источники финансирования мероприятий по ее обеспечению, определить четкие правила распределения ответственности за нарушения электроснабжения; организационной системы обеспечения надежности и в сети отдельного субъекта электроэнергетики или потребителя, которая позволяет определять, планировать и эффективно реализовать группу мероприятий по управлению надежностью для обеспечения необходимого ее уровня в точках сети субъекта.

*Ключевые слова:* электроснабжение, надежность, потребители, управление, оптимизация

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 2, pp. 12–17.*

### **A Conceptual Approach to Solving the Problem of Ensuring Reliable Power Supply to Consumers**

M.V. SHARYGIN

The article considers the problem of ensuring reliable supply of electric power to consumers, which has a complex organization and economic background. An analysis of the present-day situation with and the history of the problem shows the need of doing away with using the purely regulatory-administrative approach in the field of regulating the reliability matters and shifting to mutually profitable relations between power companies and consumers, which is directly pointed out in the law «About the Electric Power Industry». A new conceptual approach to solving the electric power supply reliability problem is proposed, according to which the following two systems should be put in use: (i) a contractual system of mutual relations on reliability between the electric power system entities and consumers, financial support is provided for measures on ensuring the required reliability, and clear-cut rules for distributing the responsibility for interruption of power supply; and (ii) an organizational system for ensuring reliable power supply from the network of an individual electric power system entity or consumer, the use of which makes it possible to determine, plan, and efficiently implement a group of measures for control of reliability for ensuring its necessary level at the points of entity's network.

*Key words:* electric power supply, reliability, consumers, control, optimization

*Электричество, 2015, №2, стр. 17-21*

### **Новый принцип осуществления токовой дифференциальной защиты для линий электропередачи ультравысокого напряжения**

ХО ДЯ-ЛИ, ЛИ ЮН-ЛИ, ЛИ-БИН, СЮЕ ШИ-МИН

Поперечные емкостные токи сильно влияют на работу токовой дифференциальной защиты линий электропередачи сверхвысоких напряжений. Предлагается новый принцип выполнения защиты и определение тока короткого замыкания при использовании модели Бержерона (Begeron Model) линий электропередачи, которая автоматически учитывает емкостные токи и исключает их влияние на работу защиты. Приведены формулы модели Бержерона и выполнено цифровое моделирование работы измерительного органа защиты. Результаты моделирования и опыт эксплуатации показывают возможность и преимущества этого принципа. Токовые дифференциальные защиты на этом принципе с помощью оптико-волоконного канала успешно работают уже 4 года на первой в Китае линии электропередачи напряжением 1000 кВ.

*Ключевые слова:* линии электропередачи, релейная защита, модель Бержерона (Begeron model)

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 2, pp. 17–21.*

### **A New Principle for Implementing Differential Current Protection for Extra-High-Voltage Power Lines**

HO DYA-LI, LI YUN-LI, LI-BIN and SYUE SHI-MIN

Shunt capacitive currents have a strong effect on the operation of differential current protection of extra-high-voltage power lines. A new principle is proposed for implementing the protection and determining the short-circuit fault current in using the Bergeron model of power lines, which automatically takes into account capacitive currents and eliminates their influence on the operation of protection. Formulas of the Bergeron model are presented, and digital simulation of the protection measuring element is carried out. The simulation results and operating experience demonstrate the feasibility and advantages of this principle. Differential current protections constructed based on this principle with the use of a fiber-optic channel have successfully been in operation for already 4 years in China's first 1000 kV power line.

*Key words:* power lines, relay protection, Bergeron model

*Электричество, 2015, №2, стр. 22-30*

### **Полупроводниковое устройство управления высоковольтным вакуумным прибором**

ЩЕРБАКОВ А.В., ЕФАНОВ М.М.

Использование высоковольтных вакуумных приборов (ВВП) для технологических целей при коммутации высоких напряжений (до 200 кВ) в импульсном, квазистационарном и стационарном режимах на периодически пробивающуюся нестационарную нагрузку требует создания надёжных полупроводниковых устройств управления (УУ), подмодуляторов, находящихся на потенциале катода, обеспечивающих работоспособность коммутатора в условиях возникновения искрового пробоя. Разработаны два типа полупроводниковых УУ коммутационного и инверторного типов для ВВП типа электронно-лучевой вентиль (ЭЛВ), секундной, микросекундной длительности импульса на выходные напряжения от  $-1$  до  $+6$  кВ, током  $0,1\dots, 1$  А. Минимальная длительность фронта и среза выходного импульса УУ коммутационного типа  $1,0$  мкс, инверторного типа до  $100$  мкс длительность импульса управления не ограничена. В программе EWB предложена методика компьютерного исследования процессов, происходящих в электрической схеме УУ при воздействии на выходные клеммы высоковольтной импульсной помехи, аналога искрового пробоя амплитудой до  $200$  кВ, током до  $1$  кА.

*Ключевые слова:* полупроводниковое устройство управления, высоковольтные импульсы, моделирование устойчивости

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No.2, pp. 22–30.*

### **The Semiconductor Device for Control of a High-Voltage Vacuum Tube**

A.V. SHCHERBAKOV and M.M. EFANOV

The use of high-voltage vacuum tubes (HVVTs) for process needs in switching high voltages (up to 200 kV) in impulse, quasi steady-state, and steady-state modes on a periodically flashed over unsteady load generates the need to construct reliable semiconductor control devices (CDs) and submodulator operating at the cathode potential, which ensure operability of the switching device when a spark breakdown occurs. Two types of semiconductor CDs of switching and inverter types are developed for HVVTs relating to the category of an electron-beam valve for second and microsecond pulse duration and output voltages from  $-1$  to  $+6$  kV and currents in the range  $0.1$ - $1.0$  A. The minimal front and tail

duration of the output impulse is  $1.0 \mu\text{s}$  for a switching type CD and up to  $100 \mu\text{s}$  for an inverter-type CD; the control impulse duration is not limited. In the EWB program, a procedure is proposed for computer-aided investigation of the processes occurring in the CD electrical circuit when the output terminals experience the effect of high-voltage impulse interference, which is an analog of spark breakdown with amplitude of up to 200 kV and current up to 1 kA.

*Key words:* semiconductor control device, high-voltage impulses, stability simulation

*Электричество, 2015, №2, стр. 31-39*

**Анализ чувствительности центрального коэффициента размагничивания цилиндрического стержня к магнитной восприимчивости его материала**  
САНДОМИРСКИЙ С.Г.

Расчет центральных коэффициентов размагничивания (ЦКР) цилиндрических стержней остается актуальной задачей, особенно для тел с малой относительной длиной. Это обусловлено тем, что многие объекты, встречающиеся в практике магнитного контроля и измерений, имеют именно такую форму. В то же время опубликованные данные по экспериментальным и расчетным значениям ЦКР не всегда позволяют использовать их на практике. Разработана, физически и математически обоснована формула для расчета центрального коэффициента  $N$  размагничивания цилиндрического стержня во всем возможном диапазоне изменения его размеров и магнитных свойств. С использованием формулы проанализирована чувствительность  $N$  к изменениям магнитных свойств и размеров стержня. Определены соотношения параметров, при которых влиянием изменений магнитных свойств материала цилиндра на значение  $N$  можно пренебречь.

*Ключевые слова:* ферромагнитное тело, намагничивание, размагничивающий фактор, центральный коэффициент размагничивания

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 2, pp. 31–39.*

**Analyzing the Sensitivity of the Central Demagnetization Coefficient of a Cylindrical Rod to the Magnetic Susceptibility of Its Material**  
S.G. SANDOMIRSKII

Calculation of central demagnetization coefficients (CDCs) for cylindrical rods remains a topical problem, especially for bodies with a small relative length. This is because many objects encountered in practice of magnetic examination and measurements have just this shape. At the same time, the published data on experimentally determined and calculated values of CDCs are not always suitable for being used in practice. A formula for calculating the central demagnetization coefficient  $N$  for a cylindrical rod in the entire possible variation range of its sizes and magnetic properties has been developed and substantiated in physical and mathematical respects. The obtained formula was used for analyzing the sensitivity of  $N$  to variations of the magnetic properties and sizes of a rod. The ratios of parameters at which it is possible to ignore the effect the changes in the cylinder material magnetic properties have on the value of  $N$  are determined.

*Key words:* ferromagnetic body, magnetization, demagnetizing factor, central demagnetization coefficient

*Электричество, 2015, №2, стр. 40-48*

**Универсальная структура математической модели управляемых электрических машин**

## **переменного тока**

МУСТАФАЕВ Р.И., ГАСАНОВА Л.Г.

Разработана универсальная структура математической модели электрических машин переменного тока, базирующаяся на уравнениях, записанных в осях, вращающихся со скоростью ротора, относительно потокоцеплений, представленных в векторно-матричной форме. Структура модели позволяет учесть все возможные виды управления машин переменного тока: частотное как со стороны статора, так и со стороны ротора, а также продольно-поперечное управление цепей возбуждения для синхронных машин. На модели может быть исследовано абсолютное большинство применяемых на практике электрических машин переменного тока: синхронная машина с продольно-поперечным возбуждением; «классическая» синхронная машина с возбуждением по продольной оси; частотно-управляемая синхронная машина с возбуждением от постоянных магнитов; частотно-управляемая асинхронная машина с короткозамкнутым ротором; асинхронная машина двойного питания, а также асинхронная машина с частотным управлением как со стороны статора, так и со стороны ротора.

*Ключевые слова:* ветроэнергетика, гидроэнергетика, машины переменного тока, система управления, математическая модель

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 2, pp. 40–48.*

### **The Universal Structure of a Mathematical Model of Controlled AC Electrical Machines**

R.I. MUSTAFAEV and L.G. GASANOVA

The universal structure of a mathematical model of AC electrical machines is developed, which is based on equations written in the coordinate axes rotating with the rotor speed with respect to flux linkages represented in vector-matrix form. The model structure makes it possible to take into account all possible kinds of AC machine control, including frequency control both on the rotor and stator sides, as well as control of excitation circuits in the direct and quadrature axes for synchronous machines. The model enables one to investigate the absolute majority of AC machines used in practice: a synchronous machine with excitation in direct and quadrature axes, a “classic” synchronous machine with excitation in the direct axis, an adjustable-frequency synchronous machine with excitation from permanent magnets, an adjustable-frequency induction machine with a squirrel-cage rotor, a double-fed induction machine, and an adjustable-frequency induction machine controlled both on the stator and rotor sides.

*Key words:* wind power engineering, hydraulic power engineering, AC machines, control system, mathematical model

*Электричество, 2015, №2, стр. 49-53*

### **Оптимизация виброшумовых характеристик синхронного электропривода**

АНАНЬЕВ С.С., ГОЛУБЕВ А.Н., МАРТЫНОВ В.А., КАРАЧЕВ В.Д.

Показано, что для уменьшения радиальных магнитных сил в зазоре  $m$ -фазной машины ( $m \geq 3$ ) следует отказаться от ее синусоидального питания, обеспечив принудительное формирование амплитуд гармоник токов с порядковыми номерами, меньшими числа фаз. Получены аналитические выражения для определения реальных сил, на основе которых предложена методика компромиссной минимизации действующего значения тока статора и магнитных шумов при сохранении требуемого электромагнитного момента. Предложена структура  $m$ -фазного синхронного электропривода с улучшенными виброшумовыми характеристиками, настройка системы управления которой основана на разработанной методике оптимизации виброшумовых

характеристик.

*Ключевые слова:* многофазный синхронный электропривод, виброшумовые характеристики, магнитные силы, гармоники радиальной магнитной силы, спектральный вектор

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 2, pp. 49–53.*

### **Optimizing the Vibration and Noise Characteristics of a Synchronous Electric Drive**

S.S. ANAN'YEV, A.N. GOLUBEV, V.A. MARTYNOV and V.D. KARACHEV

The article deals with a topical and intricate problem, namely, the possibility of removing noise produced by electrical machines due to radial, tangential, and axial magnetic forces. Noise combating efforts are taken not only in order to set up comfortable working environment, but also in view of purely technical considerations, because any kinds of noise are a means of machine vibration, leading to machine ageing and failure. It is shown that, in order to reduce radial magnetic forces in the gap of an  $m$ -phase machine ( $m > 6-9$ ), measures should be taken for forcedly generating the amplitudes of current harmonic components with ordinal numbers smaller than the number of phases instead of using sine-wave power supply. Analytic expressions for determining the radial forces are obtained. The obtained expressions are used as a basis for proposing a procedure for compromise minimization of the effective stator current and magnetic noises while retaining the required electromagnetic torque. The structure of an  $m$ -phase synchronous electric drive with improved vibration and noise characteristics is proposed, the control system of which is adjusted using a procedure for optimizing vibration and noise characteristics.

*Key words:* multiphase synchronous electric drive, vibration and noise characteristics, magnetic forces, radial magnetic force harmonic components, spectral vector

*Электричество, 2015, №2, стр.54-59*

### **Проектирование одноимённо-полюсных индукторных двигателей с постоянными магнитами на роторе**

СМИРНОВ А.Ю., ЗИМИН А.Ю.

Приводится метод определения базовых размеров одноименно-полюсной индукторной машины с возбуждением от кольцевых постоянных магнитов, расположенных на роторе, — диаметра и длины ротора. Размеры определяются с учетом как электромагнитных нагрузок двигателя (линейной нагрузки якоря и индукции в зазоре), так и момента инерции, при котором обеспечиваются наиболее благоприятные динамические качества двигателя в шаговом приводе. Делается вывод о том, что электромагнитный момент одноименно-полюсной машины с магнитоэлектрическим ротором, магниты которого намагничены в осевом направлении, не зависит от отношения длины ротора к его диаметру. Это позволяет предложить методику проектирования одноименно-полюсных индукторных двигателей с постоянными магнитами на роторе, по которой основные размеры ротора определяются с учетом как момента нагрузки на валу, так и момента инерции подвижных частей привода.

*Ключевые слова:* индукторная машина, постоянные магниты, базовые размеры, момент инерции, шаговый привод

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 1, pp. 54–59.*

### **Designing Homopolar Inductor Motors with Permanent Magnets on the Rotor**

A. YU. SMIRNOV and A. YU. ZIMIN

A method for determining the basic sizes of a homopolar inductor machine (the rotor diameter and length) excited from annular permanent magnets placed on the rotor is presented. The sizes are determined taking into account both the motor electromagnetic loads (the armature linear load and induction in the air gap) and the inertia moment at which the most favorable dynamic properties of the motor in a step drive are achieved. A conclusion is drawn that the electromagnetic torque of a homopolar machine with a magnetolectric rotor the magnets of which are magnetized in the axial direction does not depend on the rotor length to diameter ratio. As a result, a procedure for designing homopolar inductor motors with permanent magnets on the rotor can be proposed, according to which the main rotor sizes are determined taking into account both the load torque on the shaft and the inertia moment of the drive movable parts.

*Key words:* inductor machine, permanent magnets, basic sizes, inertia moment, step drive

*Электричество, 2015, №2, стр.60-63*

### **О выборе типа электрических машин для исполнительных агрегатов электрических рулевых приводов летательных аппаратов**

КАРЖАВОВ Б.Н.

Исполненные агрегаты, содержащие исполнительный двигатель, измеритель частоты вращения и датчик положения потока, предназначены для использования в электрических рулевых приводах при управлении моментом исполнительного двигателя. Показаны преимущества синхронных электрических машин с зубцовым шагом обмотки по сравнению с другими типами электрических машин, применяемых в рулевых электроприводах. Приведены результаты разработок исполнительных агрегатов для электрических рулевых приводов летательных аппаратов различного назначения – с длительным и малым временем полета.

*Ключевые слова:* электрический рулевой привод, летательный аппарат, способ управления моментом, исполнительный агрегат, синхронный двигатель, синхронный генератор, датчик положения

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 2, pp. 60–63.*

### **On Selecting the Type of Electrical Machines for the Actuators of Electrical Drives of Aircraft Rudders**

B.N. KARZHAVOV

Actuators containing an actuating motor, a rotation frequency meter, and a flux position sensor are intended for use in rudder electric drives in controlling the actuating motor torque. The advantages of synchronous electrical machines with a tooth winding pitch over other types of electrical machines used in rudder electric drives are shown. The results of works on designing the actuators for rudder electric drives of aircrafts for different purposes with a short- and long-time flight are presented.

*Key words:* rudder electric drive, aircraft, torque control method, actuator, synchronous motor, synchronous generator, position sensor

*Электричество, 2015, №2, стр.64-67*

### **Экспериментальное исследование резонансных свойств электродвигателя с фазным ротором на**

## **ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ**

МИРОШНИЧЕНКО М.С., ДЕГТЯРЁВ А.Н.

Основными методами диагностики электрических машин являются: вибродиагностика; диагностика на основе измерения фазных токов и напряжений; методы, основанные на измерении поля рассеяния, существующего вблизи электрической машины и являющегося частью общего магнитного потока. В статье предлагается метод высокочастотной диагностики электрических машин. Показано, что при малых значениях тестовых напряжений машина ведет себя как электромагнитное устройство с сосредоточенными параметрами. Вид резонансных кривых позволяет сделать вывод о характере неисправностей машины, что в дальнейшем может быть использовано для построения соответствующих схем замещения. Приведена структурная схема экспериментальной установки и принципиальные схемы входящих в нее устройств. Обоснована возможность использования предлагаемого метода для диагностики электрических машин в процессе эксплуатации.

*Ключевые слова:* электрические машины, диагностика, высокая частота, резонансные свойства

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 2, pp. 64–67.*

### **An Experimental Investigation of the Resonance Properties of an Electric Motor with a Phase-Wound Rotor at High Frequencies**

M.S. MIROSHNICHENKO and A.N. DEGTYAREV

The list of main methods for diagnosing electrical machines includes vibration diagnostics, diagnostics on the basis of phase current and voltage measurements, methods based on measuring the leakage field existing near the electrical machine that is part of the total magnetic flux. A method for high-frequency diagnostics of electrical machines is proposed. It is shown that at low values of test voltages the machine behaves as an electromagnetic device with lumped parameters. The shape of resonance curves allows a conclusion to be drawn about the nature of defects in the machine, which can subsequently be used for constructing the relevant equivalent circuits. The structure of the experimental installation and the basic circuits of its constituent parts are presented. The possibility of using the proposed method for diagnosing electrical machines in the course of their operation is substantiated.

*Key words:* electrical machines, diagnostics, high frequency, resonance properties

**Памяти Льва Граздановича Мамиконянца (К 100-летию со дня рождения)**