

## **Содержание**

*Электротехника, 2022, №11, стр.2-5*

### **АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАБЕЛЬНОГО БЛОКА**

**Кухарчук И.Б., Казаков А.В., Труфанова Н.М.**

Статья посвящена исследованию тепловых полей в стационарных и развивающихся во времени процессах нагружения кабельных линий. Рассмотрены вопросы размещения дополнительных резервных линий внутри канала, проведена оценка возможности передачи энергии по таким линиям с учетом температуры каждой отдельной линии без превышения критического значения для полимерной изоляции. Выполнено сравнение токовых нагрузок линий в условиях коллективной прокладки с одиночным кабелем, нагруженным в соответствии с рекомендациями нормативных документов. Показана необходимость дифференцированного снижения токовых значений в зависимости от их расположения в коллективном кабельном блоке. Вычислены поправочные коэффициенты снижения нагрузки линий для соблюдения теплового режима работы кабелей. Даны рекомендации по рациональному использованию пропускной способности кабельного блока в условиях переменной суточной нагрузки конкретного потребителя.

**Ключевые слова:** кабельный блок, резервные линии, пропускная способность.

The article is devoted to the study of thermal fields in stationary and time-evolving loading processes of cable lines. The issues of placing additional backup lines inside the channel are considered, the possibility of energy transmission through such lines is assessed, taking into account the temperature of each individual line without exceeding the critical value for polymer insulation. The comparison of current loads of lines in conditions of collective laying with a single cable loaded in accordance with the recommendations of regulatory documents is carried out. The necessity of differentiated reduction of current values depending on their location in the collective cable unit is shown. The correction coefficients of reducing the load of the lines to comply with the thermal mode of operation of the cables are calculated. Recommendations are given on the rational use of the capacity of the cable block in conditions of variable daily load of

a particular consumer.

**Key words:** cable block, backup lines, bandwidth.

*Электротехника, 2022, №11, стр. 6-10*

### **Адаптивный нечеткий измеритель температуры камеры сгорания газотурбинного двигателя**

ХИЖНЯКОВ Ю.Н., ЮЖАКОВ А.А., СТОРОЖЕВ С.А., НИКУЛИН В.С.

Для измерения температуры в камере сгорания газотурбинного авиационного двигателя предлагается использовать виртуальный нечеткий измеритель, построенный на изменении параметров вращения газовых турбин с учетом горения топлива, подаваемого дифференциальным коллектором. Архитектура измерителя построена по классической схеме: фаззификатор с применением сигмоидных функций принадлежности, блок нечеткого вывода, содержащего операции нечеткой импликации, нечеткой композиции и дефаззификатор. Адаптация нечеткого измерителя температуры выполнена по методу последовательного обучения, а исследование статических свойств измерителя – с помощью математической модели на платформе MATLAB. Согласно осциллограмме, где сравнение осуществлялось в результате измерений термопарой, можно сделать вывод о линейности статической характеристики адаптивного нечеткого измерителя температуры. Применение разработанного измерителя температуры возможно для управления гомогенного коллектора камеры сгорания и контроля температуры в первой зоне камеры сгорания с целью контроля температуры виброгорения и срыва. Основное достоинство разработанного измерителя температуры – постоянное измерение температуры в процессе эксплуатации летательного аппарата.

**Ключевые слова:** газотурбинный авиационный двигатель, камера сгорания, измеритель температуры, нечеткое управление, нечеткая импликация, нечеткая композиция, адаптивные фаззификаторы, уравнения Сугено, гомогенный коллектор.

To measure the temperature in the combustion chamber of a gas turbine aircraft engine, it is proposed to use a virtual fuzzy meter based on changing the rotation parameters of gas turbines, taking into account the combustion of fuel supplied by a differential collector. The architecture of the meter is built according to the classical scheme: a fuzzifier using sigmoid membership functions, a block of fuzzy inference containing operations of fuzzy implication, fuzzy composition and a

defuzzifier. The adaptation of the fuzzy temperature meter was carried out using the sequential learning method, and the study of the static properties of the meter was carried out using a mathematical model on the MATLAB platform. According to the oscillogram, where the comparison was carried out as a result of measurements with a thermocouple, it can be concluded that the static characteristic of the adaptive fuzzy temperature meter is linear. The application of the developed temperature meter is possible to control the homogeneous collector of the combustion chamber and temperature control in the first zone of the combustion chamber in order to control the temperature of vibration combustion and breakdown. The main advantage of the developed temperature meter is the constant measurement of temperature during the operation of the aircraft.

**Key words:** gas turbine aircraft engine, combustion chamber, temperature meter, fuzzy control, fuzzy implication, fuzzy composition, adaptive fuzzifiers, Sugeno equations, homogeneous collector.

*Электротехника, 2022, №11, стр. 11-17*

**Разработка алгоритма обучения мультиагентной системы управления электротехническим комплексом нефтегазодобывающего предприятия с распределенной генерацией**

ПАВЛОВ Н.В., ПЕТРОЧЕНКОВ А.Б.

Для разработки алгоритма обучения мультиагентной системы управления электротехническим комплексом нефтегазодобывающего предприятия с распределенной генерацией использованы методы моделирования в программных пакетах *RastrWin3* и *LabVIEW*. Основная цель алгоритма обучения – обеспечение самонастройки мультиагентной системы управления при изменении топологии системы и принципов взаимодействия элементов. Для оценки работоспособности алгоритма разработана модель электротехнического комплекса Южного купола Юрчукского месторождения (Пермский край). Мультиагентная система управления предназначена для обеспечения энергетического баланса, а также позволяет создать виртуальную среду (цифровой двойник электротехнического комплекса месторождения), которая моделирует сценарии с целью обучения агентов. Мультиагентная система управления моделирует сложившиеся ситуации как марковский процесс, и находит сценарии управления, обеспечивающие минимальные отклонения от нормальных показателей энергетического баланса. При моделировании режима функционирования без использования обучения с подкреплением в течение тестового интервала, энергетический баланс в ряде сценариев выходит за установленные пределы по балансовой надежности.

*Ключевые слова:* электротехнический комплекс нефтегазодобывающего предприятия, распределенная генерация, мультиагентный подход, алгоритм обучения, моделирование.

Modeling methods in RastrWin3 and LabVIEW software packages were used to develop an algorithm for training a multi-agent control system for an electrical complex of an oil and gas producing enterprise with distributed generation. The main purpose of the learning algorithm is to provide self-tuning of a multi-agent control system when changing the topology of the system and the principles of interaction of elements. To assess the efficiency of the algorithm, a model of the electrical complex of the Southern Dome of the Yurchuk deposit (Perm Krai) has been developed. The multi-agent control system is designed to ensure energy balance, and also allows you to create a virtual environment (a digital twin of the field's electrical complex), which simulates scenarios for the purpose of training agents. The multi-agent control system models the current situations as a Markov process, and finds control scenarios that ensure minimal deviations from normal energy ball indicators.

**Key words:** electrotechnical complex of an oil and gas producing enterprise, distributed generation, multi-agent approach, learning algorithm, modeling.

*Электротехника, 2022, №11, стр. 18-22*

### **Расчет характеристик двухиндукторного линейного асинхронного двигателя**

ЧАБАНОВ Е.А., КОРОТАЕВ А.Д., ОПАРИН Д.А., ПОГУДИН А.Л., КУЛЕШОВ П.В.

Представлена расчетная модель двухиндукторного линейного асинхронного двигателя с двумя одинаковыми индукторами, расположенными друг против друга, и вторичным немагнитным элементом, который находится в зазоре между ними. Важной особенностью двухиндукторного линейного асинхронного двигателя является неравномерность распределения электромагнитного поля по ширине вторичного элемента и индуктора. Для исследования электромагнитных процессов такого двигателя была разработана модель, учитывающая реальный характер электромагнитного поля, особенно в боковых зонах. Среда во всех исследуемых зонах расчетной модели является магнитно-анизотропной. Дифференциальные уравнения электромагнитного поля для таких сред получены на основании уравнений электродинамики. Предложена новая расчетная модель для аналитического исследования и расчета распределения электромагнитного поля по ширине двухиндукторного линейного асинхронного двигателя. Исследовано влияние ширины индуктора и вторичного элемента на характеристики двигателя. Предложен инженерный метод учета поперечного краевого эффекта машины, в котором магнитное

поле боковых зон учитывается увеличением расчетной ширины индуктора.

**Ключевые слова:** двухиндукторный линейный асинхронный двигатель, индуктор, расчетная модель, шунтирующие участки, векторный потенциал магнитного поля, скалярный потенциал электрического поля.

The article presents a design model of a linear asynchronous motor with a double-sided inductor, which has two identical inductors located opposite each other and a secondary non-magnetic element located in the gap between them. An important feature of a two-inductor linear asynchronous motor is the uneven distribution of the electromagnetic field across the width of the inductor and the secondary element. For an analytical study of the electromagnetic processes of such an engine, a calculation model was developed that allows taking into account the real nature of the electromagnetic field in the side zones. According to the accepted assumptions, the medium in all zones of the calculation model is magnetically anisotropic. The differential equations of the electromagnetic field for such media are obtained on the basis of the equations of electrodynamics. As a result of the analysis, a new calculation model was proposed for the analytical study and calculation of the electromagnetic field distribution over the width of a linear asynchronous motor with a double-sided inductor. The influence of the width of the inductor and the secondary element on the characteristics of the engine has been studied. An engineering method is proposed for taking into account the transverse edge effect of the machine, in which the magnetic field of the side zones is taken into account by increasing the calculated width of the inductor.

**Key words:** linear asynchronous motor with a double-sided inductor, inductor, calculation model, shunt sections, magnetic field vector potential, electric field scalar potential.

*Электротехника, 2022, №11, стр. 23-27*

**Определение сопротивлений нулевой последовательности бронированных силовых кабелей с помощью математического моделирования электромагнитных процессов**  
ЩЕРБИНИН А.Г., ЛУКОЯНОВ Р.П., СУББОТИН Е.В.

В электроэнергетических системах при возникновении аварийных режимов требуется правильная организация защитной аппаратуры от токов короткого замыкания и обрывов электроцепей. Для определения токов короткого замыкания необходимо знать активную и реактивную составляющие полного сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей. В стандарте ИЕС 60909-2 приведена методика аналитического

расчета таких сопротивлений для силовых кабелей различных конструкций. Однако наличие стальной брони, являющейся магнитным материалом, не позволяет использовать данную методику. Поэтому определение сопротивлений нулевой последовательности проводится с помощью математического моделирования электромагнитных процессов в силовом кабеле. Дифференциальное уравнение, записанное для комплексной амплитуды векторного магнитного потенциала в двухмерной постановке, решается методом конечных элементов с помощью пакетного модуля ANSYS Maxwell. В результате решения поставленной задачи находятся распределения магнитного потенциала, напряженности магнитного поля, магнитной индукции, плотности тока в проводящих элементах области исследования, и вычисляется матрица частичных активных и реактивных сопротивлений, с помощью которой определяются сопротивления нулевой последовательности. Проверка адекватности предложенной математической модели выполнена путем сравнения результатов вычислений сопротивлений нулевой последовательности кабелей без брони, полученных с помощью ANSYS Maxwell, с соответствующими данными, найденными по методике IEC 60909-2. Численные исследования проведены для силовых кабелей с номинальным сечением медных многопроволочных токопроводящих жил 120, 185 и 300 мм<sup>2</sup> в общей свинцовой оболочке со стальной броней. Установлено влияние относительной магнитной проницаемости стальной брони на значения активной и реактивной составляющих сопротивлений нулевой последовательности.

**Ключевые слова:** силовой кабель, стальная броня, сопротивление нулевой последовательности, электромагнитные процессы, математическое моделирование.

In electric power systems, the frequent occurrence of emergency modes requires the proper organization of protective equipment against short-circuit currents and breaks in electrical circuits. To determine short-circuit currents, it is necessary to know the active and reactive components of the positive, negative and zero-sequence impedance. The IEC 60909-2 standard provides a method for the analytical calculation of such impedances for various designs power cables. However, the presence of steel armor, which is a magnetic material, does not allow using this technique. Therefore the determination of the zero-sequence impedances is carried out using mathematical modeling of electromagnetic processes in the power cable. The differential equation written for the complex amplitude of the vector magnetic potential in a two-dimensional formulation is solved by the finite element method using the ANSYS Maxwell package module. As a result of solving the problem, the magnetic potential distributions,

magnetic field strength, magnetic induction, current density in the study area conductive elements is found, and the matrix of partial active and reactive resistances is calculated, with the help of which are determined the zero-sequence impedances. The adequacy of the proposed mathematical model was verified by comparing calculating results the zero-sequence impedances of cables without armor, obtained using ANSYS Maxwell, with the corresponding data found by the IEC 60909-2 method. Numerical studies was carried out for power cables with a nominal cross-section of multiwire copper current-carrying conductors of 120 mm<sup>2</sup>, 185 mm<sup>2</sup> and 300 mm<sup>2</sup> in a common lead-sheath with steel armor. The influence the relative magnetic permeability value of steel armor on the active and reactive components values of the zero-sequence impedances has been established.

**Keywords:** power cable, steel armor, zero-sequence impedance, electromagnetic processes, mathematical modeling.

*Электротехника, 2022, №11, стр. 28-32*

**Расчет магнитного поля в боковых зонах линейного асинхронного двигателя с учетом влияния лобовых частей обмотки индуктора**

КОРОТАЕВ А.Д., ЧАБАНОВ Е.А., ОПАРИН Д.А.

На базе предложенной расчетной модели линейного асинхронного двигателя определяется распределение магнитного поля в зазоре между лобовыми частями. Для этого записываются дифференциальные уравнения векторного потенциала в активной и боковых зонах. При этом учитывается реальная геометрия и отгиб лобовых частей обмотки индуктора. Магнитное поле в боковых зонах состоит из полей выпучивания и лобовых частей. В статье представлены кривые изменения магнитной индукции в боковых зонах с учетом лобовых частей и без их учета. Выявлено, что поле в боковых зонах в основном определяется полем выпучивания, а влияние полей лобовых частей незначительно. Поэтому влияние лобовых частей при расчетах можно не учитывать.

**Ключевые слова:** линейный асинхронный двигатель, магнитное поле, лобовая часть, боковые зоны, поле выпучивания, поле лобовых частей, расчет.

On the basis of the proposed calculation model of a linear asynchronous motor, the distribution of the magnetic field in the gap between the frontal parts is determined. To do this, the differential equations of the vector potential in the active and lateral zones are written. This takes into account the actual geometry and bending of the frontal parts of the inductor winding. The

magnetic field in the lateral zones consists of bulging fields and frontal parts. The article presents the curves of magnetic induction changes in the lateral zones, taking into account the frontal parts and without taking them into account. It is revealed that the field in the lateral zones is mainly determined by the buckling field, and the influence of the fields of the frontal parts is insignificant. Therefore, the influence of the frontal parts in the calculations can not be taken into account.

**Keywords:** linear asynchronous motor, magnetic field, frontal part, lateral zones, buckling fields, frontal parts field, calculation.

*Электротехника, 2022, №11, стр. 32-37*

### **Нейросетевые модели газотурбинных электростанций для синтеза и настройки систем управления**

КАВАЛЕРОВ Б.В., КИЛИН Г.А., БАХИРЕВ И.В.

В статье рассматривается возможность применения нейросетевых моделей газотурбинных электростанций для автоматической настройки и синтеза систем управления.

Рассматриваемые нейросетевые модели представляют газотурбинную установку и синхронный генератор как единую модель газотурбинной электростанции. Приведено обоснование архитектуры искусственной нейронной сети, способной после обучения воспроизводить работу газотурбинных электростанций при различных конфигурациях электроэнергетической системы. Приведены результаты применения нейросетевой модели газотурбинной электростанции для автоматической настройки контура управления частотой вращения свободной турбины, а также результаты математического моделирования, подтверждающие эффективность предложенной архитектуры искусственной нейронной сети.

**Ключевые слова:** электрическая станция, газотурбинная электростанция, газотурбинная установка, автоматическая настройка, нейронная сеть, нейросетевая модель.

This article discusses the possibility of using neural network models of gas turbine power plants for automatic tuning and synthesis of control systems. The considered neural network models represent a gas turbine plant and a synchronous generator as a single model of a gas turbine power plant. The rationale for the architecture of an artificial neural network is given, which, after training, is capable of reproducing the gas turbine power plants operation with electric power system various configurations. The results of the application of a neural network model of a gas turbine power plant for automatic tuning of the free turbine speed control loop are

presented. The results of mathematical modeling confirming the effectiveness of the method are presented.

**Key words:** power plant, gas turbine power plant, gas turbine plant, automatic tuning, neural network, neural network model.

*Электротехника, 2022, №11, стр. 38-43*

### **Разработка электропривода стенда испытания торсионов на базе дуговых асинхронных электродвигателей**

ПОГУДИН А.Л., ЧАБАНОВ Е.А., КОРОТАЕВ А.Д., ОПАРИН Д.А., КУЛЕШОВ П.В.

В соответствии с характером реальных нагрузок торсиона испытания его на усталость при кручении необходимо вести при помощи приложения к нему циклических нагрузок, которые создаются с помощью специального стенда на базе дуговых асинхронных двигателей. Этот стенд использует резонансный принцип возбуждения колебаний. Стенд имеет устройство предварительной закрутки торсионов, массивный маховик (ротор) и привод для создания знакопеременного крутящего момента. В качестве механизма возбуждения резонансных колебаний торсионов используются два дуговых статора, охватывающих массивный маховик (ротор) и снабженных трехфазными обмотками, управляемыми электронным блоком с бесконтактной системой автоматического управления, построенной на базе пускового тиристорного устройства. Использование резонансного принципа возбуждения колебаний на базе дуговых асинхронных двигателей позволяет значительно упростить существующую конструкцию стенда и повысить КПД при испытаниях торсионов. Разработанная функциональная схема системы управления электроприводом стенда позволяет в процессе испытаний автоматически поддерживать амплитуду колебаний маховика с заданной точностью. Указанные факторы значительно повышают экономический эффект от внедрения стенда.

**Ключевые слова:** торсион, дуговой асинхронный двигатель, маховик стенда (ротор), резонансная частота механических колебаний, магнитное число Рейнольдса, датчики положения, пусковое тиристорное устройство.

In accordance with the nature of the real loads of the torsion bar, it is necessary to test it for torsional fatigue by applying cyclic loads to it, which are created using a special stand based on arc asynchronous motors. This stand uses the resonant principle of oscillation excitation. The stand has a torsion bar pre-twisting device, a massive flywheel (rotor) and a drive for generating

a sign-variable torque. As a mechanism for excitation of resonant oscillations of torsion bars, two arc stators are used, covering a massive flywheel (rotor) and equipped with three-phase windings controlled by an electronic unit with a non-contact automatic control system built on the basis of a starting thyristor device. The use of the resonant principle of excitation of oscillations based on arc asynchronous motors makes it possible to significantly simplify the existing design of the stand and increase the efficiency when testing torsion bars. The developed functional diagram of the bench electric drive control system makes it possible to automatically maintain the amplitude of the flywheel oscillations with a given accuracy during testing. These factors significantly increase the economic effect of the implementation of the stand.

**Key words:** torsion bar, induction arc motor, stand flywheel (rotor), resonant frequency of mechanical oscillations, magnetic Reynolds number, position sensors, starting thyristor device.

*Электротехника, 2022, №11, стр.44-48*

### **Адаптивный нечеткий регулятор возбуждения бесщеточного синхронного генератора**

ХИЖНЯКОВ Ю.Н., ЮЖАКОВ А.А., СТОРОЖЕВ С.А.

Применение ПИД регулятора для управления током возбуждения бесщеточного синхронного генератора (БЩСГ) исключает необходимость реагировать на неконтролируемые возмущения, измерить которые невозможно. К ним относятся насыщение магнитопровода БЩСГ, изменение активного сопротивления статорных и роторных обмоток в связи с нагревом генератора и т.д. Изменение параметров БЩСГ влияет на переходные и сверхпереходные процессы в динамике. Замена ПИД регулятора на нечеткий адаптивный регулятор напряжения исключает влияние указанных возмущений, обеспечивает стабильное поддержание напряжения на шинах статора, сокращает время переходного процесса при включении асинхронной нагрузки и сводит к нулю статическую ошибку. Архитектура построения нечеткого регулятора содержит фаззификатор, базу знаний, если связь между переменными известна, нечеткую импликацию, нечеткую композицию на базе алгебраических уравнений Сугено и дефаззификацию по методу средневешанного. Для исследования динамики автономной электростанции разработаны нелинейные дифференциальные уравнения Парка-Горева, записанные через потокосцепление, где формирование напряжения на шинах БЩСГ выполнено по методу двух узлов. Моделирование выполнено на платформе MATLAB с целью расчета переходных процессов при включении асинхронного двигателя.

Полученные осциллограммы подтверждают эффективность замены ПИД регулятора на адаптивный нечеткий регулятор и корректность математического описания автономной электростанции.

**Ключевые слова:** бесщеточный синхронный генератор, регулятор возбуждения, фаззификатор, дефаззификатор, уравнения Сугено.

The use of a PID controller to control the excitation current of a brushless synchronous generator (BSG) eliminates the need to respond to uncontrolled disturbances that cannot be measured. These include saturation of the BSG magnetic core, changes in the active resistance of the stator and rotor windings due to the heating of the generator, etc. Changing the parameters of the BSG affects transient and super-transient transients in dynamics. Replacing the PID controller with a fuzzy adaptive voltage regulator eliminates the influence of these disturbances, ensures stable voltage maintenance on the stator tires, reduces the transition time when the asynchronous load is turned on and reduces the static error to zero. The architecture of the fuzzy controller construction contains a fuzzifier, a knowledge base, if the relationship between the variables is known, a fuzzy implication, a fuzzy composition based on the algebraic Sugeno equations and defuzzification by the weighted average method. To study the dynamics of an autonomous power plant, nonlinear Park-Gorev differential equations have been developed, written through flow coupling, where the voltage formation on the BSG tires is performed using the two-node method. The simulation was performed on the MATLAB platform in order to calculate transients when the asynchronous motor is turned on. The obtained waveforms confirm the effectiveness of replacing the PID controller with an adaptive fuzzy controller and the correctness of the mathematical description of an autonomous power plant.

**Key words:** brushless synchronous generator, excitation controller, fuzzifier, defuzzifier, Sugeno equations.

*Электротехника, 2022, №11, стр. 48-52*

**Метод оптимального управления как способ повышения энергоэффективности электроприводного центробежного насоса**

ВИШНЯКОВ Д.Д., СОЛОДКИЙ Е.М., ПЕТРОЧЕНКОВ А.Б., ЮДИН Р.Ю., САЛЬНИКОВ С.В.

Средствами MATLAB Simulink реализована векторная система управления асинхронным двигателем. Дополнен контур регулирования потокосцепления: задающее значение

потокосцепления ротора формируется на выходе онлайн-оптимизатора. Рассмотрен регулятор с поиском экстремума в MATLAB Simulink, описана параметризация элементов регулятора потокосцепления. Выполнено сравнение реализованного метода и скалярной системы управления по критериям энергоэффективности. В качестве критериев приняты активная мощность, полная мощность и коэффициент мощности. Приведен анализ данных, полученных путем имитационного моделирования, на основании которых сделан вывод об адекватности предлагаемого метода повышения энергоэффективности погружного электрического двигателя. К преимуществам реализуемого метода управления можно отнести простоту реализации, отсутствие градиентных методов оптимизации и алгоритмов, требующих больших вычислительных мощностей при воспроизведении на реальном оборудовании.

**Ключевые слова:** электроприводной центробежный насос, погружной электрический двигатель, оптимальное регулирование, регулирование с поиском экстремума.

With the help of MATLAB Simulink simulation tools, a vector asynchronous motor control system is implemented. The flow coupling control loop has been supplemented: the setting value of the rotor flow coupling is formed at the output of the online optimizer. A regulator with an extremum search in MATLAB Simulink is considered, the parameterization of the elements of the flow coupling regulator is described. The comparison of the implemented method and the scalar control system according to energy efficiency criteria is carried out. Active power, full power and power factor are accepted as criteria. The analysis of the data obtained by simulation modeling is given, on the basis of which the conclusion is made about the adequacy of the proposed method of increasing the energy efficiency of a submersible electric motor. The advantages of the implemented control method include the simplicity of implementation, the absence of gradient optimization methods and algorithms that require large computing power when reproduced on real equipment.

**Key words:** electric driven centrifugal pump, submersible electric motor, optimal regulation, regulation with the search for an extremum.

*Электротехника, 2022, №11, стр.53-59*

### **Расчет параметров синхронного генератора при неполной информации**

ФАЛАЛЕЕВ Д.В., КАВАЛЕРОВ Б.В.

Выполнен расчет параметров синхронного генератора на основании его номинальных и паспортных данных. Для такого расчета проведено моделирование работы синхронного

генератора в системе. При моделировании полные данные отсутствовали, но допустимо было оценить их приближенно, так как требовалось качественно воспроизвести переходной процесс. Синхронный генератор моделировался совместно с другими генераторами и системой электроснабжения, работавшей параллельно сети и в автономном режиме работы. Выполнено сравнение полученных результатов с точными данными. Определены границы применимости приближенных методов определения параметров синхронных машин.

**Ключевые слова:** синхронный генератор, параметры генератора, математическая модель.

The parameters of the synchronous generator are calculated based on its nominal and passport data. For this calculation, a simulation of the operation of a synchronous generator in the system was performed. When modeling, complete data were not available, but it was permissible to estimate them approximately, since high-quality reproduction of the transition process was required. The synchronous generator was modeled together with other generators and the power supply system, which worked in parallel with the network and in an autonomous mode of operation. The obtained results are compared with the exact data. The limits of applicability of approximate methods for determining the parameters of synchronous machines are determined.

**Key words:** synchronous generator, generator parameters, mathematical model.

*Электротехника, 2022, №11, стр.59-64*

### **Система электродвижения для высокоскоростных судов**

БАТРАК Д.В., НИКУЩЕНКО Д.В., СЕНЬКОВ А.П.

Системы электродвижения (СЭД) позволяют повысить надежность движителей, маневренность и безопасность плавания судов. Однако по общей массе и габаритам СЭД уступает движителям с приводом от тепловых двигателей – дизелей и турбин. Высокоскоростным судам и кораблям малого водоизмещения необходима СЭД большой мощности, но места для размещения на таких судах компонентов СЭД недостаточно. В статье рассмотрены возможные способы сокращения массы и габаритов системы электродвижения судов. Из структуры гребных электрических установок можно исключить согласующие трансформаторы, суммарная мощность которых равна мощности СЭД. Наиболее эффективным способом снижения массы и габаритов СЭД является повышение частоты вращения первичных двигателей и синхронных генераторов судовой электростанции, при этом синхронизацию генераторов можно выполнять на выпрямленном постоянном напряжении. Применение в составе судовой электростанции

многофазных синхронных генераторов позволяет получить хорошее качество напряжения питания гребных электродвигателей и обеспечить электромагнитную совместимость СЭД и общесудовых потребителей.

**Ключевые слова:** система электродвижения судов, единая электроэнергетическая система, многофазные синхронные генераторы, высокочастотное напряжение, снижение веса и габаритов, электромагнитная совместимость.

Electric propulsion systems (EPS) make it possible to increase the reliability of propellers, maneuverability and safety of navigation of ships. However, in terms of total weight and dimensions, the EPS is inferior to engines driven by thermal engines – diesels and turbines. High-speed vessels and small displacement ships need a high-capacity EPS, but there is not enough space for placing EPS components on such vessels. The article discusses possible ways to reduce the mass and dimensions of the electric propulsion system of ships. Matching transformers can be excluded from the structure of rowing electrical installations, the total power of which is equal to the power of the EPS. The most effective way to reduce the weight and dimensions of the EPS is to increase the rotation speed of the primary engines and synchronous generators of the ship's power plant, while the synchronization of generators can be performed at rectified DC voltage. The use of multiphase synchronous generators as part of a ship's power plant makes it possible to obtain a good quality of the supply voltage of the rowing electric motors and ensure electromagnetic compatibility of the EPS and ship-wide consumers.

**Key words:** ship electric propulsion system, unified electric power system, multiphase synchronous generators, high-frequency voltage, weight and size reduction, electromagnetic compatibility.

*Электротехника, 2022, №11, стр. 65-66*

**Авторы номера**

*Электротехника, 2022, №11, стр.67-67*

**Геннадий Иванович Мещанов**

**(Некролог)**