

## **Содержание**

### **О возможности внедрения интегрированного-стартер генератора в корпус газотурбинного двигателя**

ОХОТНИКОВ М.В., ЛИСОВИН И.Г., ВАВИЛОВ В.Е., ИСМАГИЛОВ Ф.Р.

Рассмотрена возможность объединения функций стартера и генератора в едином изделии и его интеграция непосредственно в газотурбинный двигатель. Выполнена оценка положительного эффекта от предлагаемой интеграции, выражающаяся в снижении массогабаритных показателей и трудоемкости при обслуживании. Проведено моделирование конструкции интегрированного стартер-генератора с оценкой температурных показателей, определяемых в элементах генератора при его работе. Проведена оценка эффективности такого решения и намечены дальнейшие пути исследований.

**Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, интегрированный стартер-генератор, постоянные магниты, моделирование.

The possibility of combining the functions of the starter and generator in a single product and its integration directly into a gas turbine engine is considered. The assessment of the positive effect of the proposed integration, expressed in a reduction in weight and size indicators and labor intensity during maintenance, was carried out. A simulation of the design of an integrated starter generator with an assessment of the temperature parameters determined in the elements of the generator during its operation is carried out. An assessment of the effectiveness of such a solution has been carried out and further research paths have been outlined.

**Key words:** gas turbine engine, integrated starter generator, permanent magnets, modeling.

### **О перспективах применения двухфазного магнитного материала для увеличения удельной мощности автономного генератора**

ЖЕРЕБЦОВ А.А., ПРОНИН Е.А., ЮШКОВА О.А., ГАРИПОВ И.Р., ИСМАГИЛОВ Ф.Р.

Совершенствование электрических машин направлено на увеличение их удельной

мощности и, следовательно, уменьшение габаритов, массы и стоимости. В частности, удельная мощность машины может быть увеличена благодаря увеличению частоты вращения ротора, что может быть достигнуто, в том числе, применением новых материалов. Один из факторов, ограничивающих увеличение частоты вращения ротора, а, следовательно, и удельной мощности машины – механическая прочность ротора. В статье рассмотрены преимущества использования в магнитопроводе автономного синхронного генератора с постоянными магнитами двухфазного магнитного материала. Показано, что при замене наиболее механически нагруженных частей (стоек и мостов) на прочную немагнитную фазу двухфазного магнитного материала максимальная частота вращения ротора может быть увеличена на 30%.

**Ключевые слова:** синхронная электрическая машина с постоянными магнитами, автономный генератор, двухфазный магнитный материал, механическая прочность.

The improvement of electric machines is aimed at increasing their specific power and, consequently, reducing the size, weight and cost. In particular, the specific power of the machine can be increased by increasing the rotor speed, which can be achieved, including the use of new materials. One of the factors limiting the increase in the rotor speed, and, consequently, the specific power of the machine, is the mechanical strength of the rotor. The article discusses the advantages of using an autonomous synchronous generator with permanent magnets of a two-phase magnetic material in a magnetic circuit. It is shown that when replacing the most mechanically loaded parts (racks and bridges) with a strong non-magnetic phase of a two-phase magnetic material, the maximum rotor speed can be increased by 30%.

**Key words:** synchronous electric machine with permanent magnets, autonomous generator, two-phase magnetic material, mechanical strength.

*Электротехника, 2023, №12, стр. 12-14*

### **Математическое моделирование барьерного разряда**

МАКСУДОВ Д.В.

Предложена математическая модель развития электронной лавины и лавинно-стримерного перехода в разрядных промежутках озонатора, учитывающая влияние электрического поля, создаваемого самой лавиной, эффект прилипания электронов к нейтральным частицам, а также процессы рекомбинации электронов с положительными

ионами и фотоионизации нейтральных частиц. На основе модели разработан итерационный метод, позволяющий определить зависимости размеров электронной лавины, количества образовавшихся в ней электронов и числа испущенных фотонов, приводящих к инициализации вторичных лавин, от расстояния, пройденного фронтом первичной лавины.

**Ключевые слова:** барьерный разряд, озонатор, газоразрядный процесс, электронная лавина, лавинно-стримерный переход, математическое моделирование, итерационный метод.

A mathematical model of the development of an electron avalanche and an avalanche-streamer transition in the discharge gaps of an ozonator is proposed, taking into account the influence of the electric field created by the avalanche itself, the effect of electrons sticking to neutral particles, as well as the processes of recombination of electrons with positive ions and photoionization of neutral particles. Based on the model, an iterative method has been developed to determine the dependences of the size of an electron avalanche, the number of electrons formed in it and the number of photons emitted, leading to the initialization of secondary avalanches, on the distance traveled by the front of the primary avalanche.

**Key words:** barrier discharge, ozonator, gas discharge process, electron avalanche, avalanche-streamer transition, mathematical modeling, iterative method.

*Электротехника, 2023, №12, стр. 15-18*

### **Проектирование рубашки охлаждения корпуса стартера-генератора**

МЕСРОПЯН ПРОНИН Е.А., ЖАРКОВ Е.О., САЯХОВ И.Ф., ЮШКОВА

Представлены результаты проектирования системы охлаждения стартер-генератора. По результатам численных расчетов подобрана оптимальная конструкция, обеспечивающая максимальное охлаждение при выполнении всех выставленных требований.

**Ключевые слова:** стартер-генератор, система охлаждения, рубашка охлаждения, численный расчет.

The results of the design of the starter-generator cooling system are presented. Based on the results of numerical calculations, an optimal design was selected that provides maximum cooling

when all the requirements are met.

**Key words:** starter-generator, cooling system, cooling jacket, numerical calculation.

*Электротехника, 2023, №12, стр. 19-24*

**Анализ влияния конструкции радиального магнитного подшипника на магнитные характеристики**

ИСМАГИЛОВ Ф.Р., ШАРАФУТДИНОВ Ш.Н., ЯМАЛОВ И.И., ГЛУМОВ Д.А.

Методы проектирования современных радиальных магнитных подшипников (РМП) различаются в зависимости от условий эксплуатации, режима работы и требований, обусловленных конструкцией агрегата. Недостаточная точность расчета конструктивных параметров, вызванная несовершенством метода проектирования может повлечь за собой ряд проблем, таких как сниженная несущая способность магнитного подшипника и усложнение алгоритмов системы управления. В статье рассмотрены различные конструкции РМП, затем на основе конечно-элементного анализа магнитной цепи выявлена зависимость электромагнитной силы и магнитной индукции от тока в обмотках.

**Ключевые слова:** радиальный магнитный подшипник, активный магнитный подвес, методы проектирования.

The design methods of modern radial magnetic bearings (RMB) vary depending on the operating conditions, operating mode and requirements due to the design of the unit. Insufficient accuracy of calculation of design parameters caused by imperfection of the design method can lead to a number of problems, such as reduced bearing capacity of the magnetic bearing and complication of control system algorithms. In this article, various designs of the RMB are considered, then, based on the finite element analysis of the magnetic circuit, the dependence of the electromagnetic force and magnetic induction on the current in the windings is revealed.

**Key words:** radial magnetic bearing, active magnetic suspension, design methods.

*Электротехника, 2023, №12, стр. 25-31*

**Способы балансировки фазных токов в многофазных понижающих преобразователях постоянного тока**

РАХМАН Н.Мд., ФАРРАХОВ Д.Р.

Увеличение числа фаз в понижающих преобразователях постоянного тока позволяет повышать мощность и положительно сказывается на энергоэффективности преобразователей. Однако в таких преобразователях существует проблема дисбаланса фазных токов, что приводит к неравномерной загрузке фаз и не позволяет достичь расчетной мощности и эффективности. В статье приведен обзор существующих способов балансировки тока в многофазных преобразователях, обсуждаются их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** многофазный преобразователь постоянного тока, балансировка тока, широтно-импульсная модуляция.

An increase in the number of phases in DC step-down converters makes it possible to increase power and has a positive effect on the energy efficiency of converters. However, in such converters there is a problem of phase current imbalance, which leads to uneven loading of phases and does not allow to achieve the calculated power and efficiency. The article provides an overview of the existing methods of current balancing in multiphase converters, discusses their advantages and disadvantages.

**Key words:** multiphase DC converter, current balancing, pulse width modulation.

*Электротехника, 2023, №12, стр. 31-36*

### **Электрические машины с постоянными магнитами в качестве авиационных интегрированных стартер-генераторов**

ГАРИПОВ И.Р., ПРОНИН Е.А., ЖАРКОВ Е.О., ВАВИЛОВ В.Е, ИСМАГИЛОВ Ф.Р.

Авиационная отрасль в связи с современными тенденциями развития промышленности претерпевает серьезные изменения. Активно разрабатываются принципиально новые решения для авиационной отрасли, заключающиеся в электрификации как отдельных частей, так и конструкции самолета в целом. Одним из таких решений является электрификация авиационных двигателей, которая в зарубежной литературе более известна под термином «moreelectricengine». в качестве авиационных интегрированных стартеров-генераторов в концепции «moreelectricengine» наибольшее внимание уделяется электрическим машинам с постоянными магнитами. В статье выполнен обзор литературы, посвященной использованию таких электрических машин в качестве интегрированных

авиационных стартер-генераторов.

**Ключевые слова:** электрический самолет, электрифицированный авиационный двигатель, стартер-генератор, обзор литературы.

The aviation industry is undergoing serious changes in connection with modern trends in the development of industry. Fundamentally new solutions for the aviation industry are being actively developed, consisting in the electrification of both individual parts and the design of the aircraft as a whole. One of such solutions is the electrification of aircraft engines, which in foreign literature is better known by the term «moreelectricengine». as aviation integrated starter generators in the concept of «moreelectricengine», the greatest attention is paid to electric machines with permanent magnets. The article reviews the literature on the use of such electric machines as integrated aircraft starter generators.

**Key words:** electric aircraft, electrified aircraft engine, starter generator, literature review.

*Электротехника, 2023, №12, стр. 37-40*

### **Расчет винтомоторной группы беспилотного летательного аппарата на взлётном режиме**

ВАВИЛОВ В.Е., ХАЙРУЛЛИН И.Х., МУСТАЕВ Э.И., НОРКИН Д.Ф., УРАЗБАХТИН Р.Р.

Приведена методика определения момента сопротивления воздушного винта, входящего в винтомоторную группу беспилотного летательного аппарата, с помощью трехмерного численного моделирования в пакете прикладных программ *STAR CCM+*. Представлены аэродинамические характеристики винта, рассчитанные с помощью подходов вычислительной газодинамики. Проведен расчёт электродвигателя беспилотного летательного аппарата с помощью программных продуктов *AnsysRMxprt* и *AnsysMaxwell*. Приведены основные рабочие параметры электромашин. Выполнено сопоставление крутящего момента двигателя и момента сопротивления воздушного винта.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, бесколлекторные двигатели постоянного тока, винтомоторная группа, взлетный режим, численное трёхмерное моделирование.

A technique for determining the moment of resistance of an air propeller included in the propeller group of an unmanned aerial vehicle using three-dimensional numerical modeling in the STAR CCM+ application software package is presented. The aerodynamic characteristics of the propeller calculated using computational gas dynamics approaches are presented. The calculation of the electric motor of an unmanned aerial vehicle was carried out using the software products *AnsysRMxprt* and *AnsysMaxwell*. The main operating parameters of the electric machine are given. The comparison of the engine torque and the moment of resistance of the propeller is performed.

**Key words:** unmanned aerial vehicles, brushless DC motors, propeller group, take-off mode, numerical three-dimensional modeling.

*Электротехника, 2023, №12, стр. 41-43*

#### **О проектировании электродвигателей для беспилотных летательных аппаратов**

УРАЗБАХТИН Р.Р., ВАВИЛОВ В.Е., ИСМАГИЛОВ Ф.Р., НОРКИН Д.Ф.

Рассмотрены методики проектирования электродвигателей для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Анализ показал, что отсутствует сформированная методика расчёта электрических двигателей БПЛА, учитывающая особенности их функционирования в различных режимах и позволяющая определить диапазон наиболее эффективной работы электродвигателя. Предложена методика проектирования электродвигателей БПЛА, привязанная к режимам их функционирования. Приведено описание методики расчёта электродвигателя для БПЛА с применением программного пакета прикладных программ *AnsysMaxwell*.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, электродвигатели с постоянными магнитами, винтомоторная группа, область эффективной работы электродвигателя, методология расчёта.

The methods of designing electric motors for unmanned aerial vehicles (UAVs) are considered. The analysis showed that there is no established methodology for calculating UAV electric motors that takes into account the peculiarities of their functioning in various modes and allows determining the range of the most efficient operation of the electric motor. A method of designing UAV electric motors tied to the modes of their operation is proposed. The description of the method of calculating the electric motor for UAVs using the software package of

AnsysMaxwell application programs is given.

**Key words:** unmanned aerial vehicles, electric motors with permanent magnets, screw-motor group, the field of effective operation of the electric motor, calculation methodology.

*Электротехника, 2023, №12, стр. 44-49*

**Повышение эффективности охлаждения авиационного электрогенератора с помощью термоэлектрических преобразователей**

АФАНАСЬЕВ Ю.В., ПАШАЛИ Д.Ю., ВАВИЛОВ В.Е., ИСМАГИЛОВ Ф.Р., ЮШКОВА О.А.

Рассмотрены конструкция авиационного электрического генератора и способ его охлаждения, позволяющие увеличить интенсивность охлаждения, уменьшить или исключить прокачку хладагента и в итоге повысить энергетическую эффективность генератора, уменьшить вес или увеличить нагрузку. Установлено, что уровень достигаемой эффективности зависит в основном от коэффициентов Зеебека и Пельтье полупроводниковых материалов для преобразователей и возможности выбора места расположения термоэлементов на двигателе с максимальным перепадом температур.

**Ключевые слова:** авиационный электрический генератор, термоэлектрическое преобразование энергии, система охлаждения, горячий и холодный спаи, эффекты Пельтье и Зеебека, термопара-термоэлемент.

The design of an aviation electric generator and its cooling method are considered, which allow increasing the cooling intensity, reducing or eliminating the pumping of the refrigerant and, as a result, increasing the energy efficiency of the generator, reducing the weight or increasing the load. It is established that the level of efficiency achieved depends mainly on the Seebeck and Peltier coefficients of semiconductor materials for converters and the possibility of choosing the location of the thermoelements on the engine with the maximum temperature difference.

**Key words:** aviation electric generator, thermoelectric energy conversion, cooling system, hot and cold junctions, Peltier and Seebeck effects, thermocouple-thermoelement.

**О механической прочности роторов с двухфазным магнитным материалом**

САЯХОВ И.Ф., ЮШКОВА О.А., ЖЕРЕБЦОВ А.А., ПРОНИН Е.А., ВАВИЛОВ В.Е.

Двухфазный магнитный материал, несмотря на сложности, связанные с его производством, остается одним из перспективных конструктивных решений для ряда электрических машин, которое может нивелировать присущие им недостатки и улучшить их выходные характеристики. Возможность управления направлением магнитного потока привлекает всё большее внимание со стороны исследовательского сообщества, однако большинство вопросов до сих пор остается неосвещенным в научно-технической литературе. Один из них – обеспечение удовлетворительных механических характеристик роторов с постоянными магнитами при их углублении в магнитопроводе с целью увеличения максимально возможной частоты вращения. В статье рассматриваются механические характеристики ротора при углублении постоянных магнитов в магнитопровод. Результаты численного расчета показывают, что использование двухфазного магнитного материала позволяет существенно увеличить механическую прочность ротора и увеличить максимально возможную частоту вращения.

**Ключевые слова:** электрическая машина с постоянными магнитами, механическая прочность ротора, двухфазный магнитный материал, расчет.

Two-phase magnetic material, despite the difficulties associated with its production, remains one of the promising design solutions for a number of electric machines, which can neutralize their inherent disadvantages and improve their output characteristics. The possibility of controlling the direction of the magnetic flux is attracting increasing attention from the research community, but most of the issues still remain unlit in the scientific and technical literature. One of them is to ensure satisfactory mechanical characteristics of rotors with permanent magnets when they are deepened in the magnetic circuit in order to increase the maximum possible rotation speed. The article discusses the mechanical characteristics of the rotor when deepening permanent magnets into the magnetic circuit. The results of numerical calculation show that the use of a two-phase magnetic material can significantly increase the mechanical strength of the rotor and increase the maximum possible rotational speed.

**Key words:** electric machine with permanent magnets, mechanical strength of the rotor, two-phase magnetic material, calculation.

## **Проблемы и перспективы развития источников питания электротехнологических установок индукционного нагрева**

РОГИНСКАЯ Л.Э., МЕДНОВ А.А.

Рассмотрены требования, предъявляемые к источникам питания электротехнологических установок индукционного нагрева. К числу этих требований относятся наличие нескольких каналов питания, в том числе обладающих различными выходными характеристиками, и возможность регулирования выходных параметров источника, включая автоматическую подстройку для согласования с нагрузкой, изменяющейся при нагреве. Пояснение работы согласующего звена источника представлено на примере его схемы замещения.

Приведены несколько применяемых на практике способов регулирования выходных параметров с указанием их достоинств и недостатков. Акцентируется внимание на активном использовании в устройствах регулирования полупроводниковых элементов и электронных систем. Рассмотрены способы устранения несимметрии сети, вызываемой применением однофазных источников питания электротехнологических установок индукционного нагрева. Указаны границы диапазонов работы тиристорных и транзисторных преобразователей частоты. Описан способ регулирования с использованием ферромагнитного умножителя частоты, позволяющего кратно снизить коммутационные потери в инвертирующем модуле источника питания и обеспечить согласование с индуктором-нагрузкой. Описаны источники генерации электромагнитных помех в источниках питания и способы борьбы по их уменьшению. Представлено несколько современных источников питания, реализуемых на отечественном рынке, и приведены их характеристики. Рассмотрены способы увеличения частотного диапазона на выходе преобразователя частоты. Акцентируется внимание на важности повышения КПД источника питания и приведены способы его повышения. Даны разъяснения по конструкции и принципу действия гибридных магнитных систем трансформаторных модулей, обладающих более высокой энергетической эффективностью.

**Ключевые слова:** электротехнологические установки индукционного нагрева, источник питания, ферромагнитный умножитель частоты, гибридная магнитная система, преобразователь частоты.

The requirements for power sources of electrotechnological installations of induction heating are considered. These requirements include the presence of several power channels, including those

with different output characteristics, and the ability to adjust the output parameters of the source, including automatic adjustment to match the load that changes during heating. An explanation of the operation of the matching link of the source is presented by the example of its substitution scheme. Several methods of regulating output parameters used in practice are given, indicating their advantages and disadvantages. Attention is focused on the active use of semiconductor elements and electronic systems in control devices. The ways of eliminating the network asymmetry caused by the use of single-phase power supplies of induction heating electrotechnological installations are considered. The limits of the ranges of operation of thyristor and transistor frequency converters are indicated. A method of regulation using a ferromagnetic frequency multiplier is described, which allows a multiple reduction of switching losses in the inverting module of the power supply and to ensure coordination with the inductor-load. The sources of generation of electromagnetic interference in power sources and ways of combating their reduction are described. Several modern power supplies sold on the domestic market are presented and their characteristics are given. The ways of increasing the frequency range at the output of the frequency converter are considered. Attention is focused on the importance of increasing the efficiency of the power supply and ways to increase it are given. Explanations are given on the design and principle of operation of hybrid magnetic systems of transformer modules with higher energy efficiency.

**Key words:** electrotechnological induction heating installations, power supply, ferromagnetic frequency multiplier, hybrid magnetic system, frequency converter.

*Электротехника, 2023, №12, стр. 60-64*

### **О пожаробезопасности аккумуляторных блоков электромобилей**

АКМАЛЕТДИНОВ Р.Г., МЕСРОПЯН А.В., ПРОНИН Е.А.

Представлен обзор литературы, посвященной проблемам пожаробезопасности электромобилей, методам раннего предупреждения пожара на основе электрохимического механизма, противопожарной защите на уровне электрохимических реакций, усовершенствованию конструкции ячеек и обнаружению пожара. Рассмотрены перспективы совершенствования пожаробезопасных конструкций.

**Ключевые слова:** электромобили, аккумуляторы, пожаробезопасность, обзор.

A review of the literature devoted to the problems of fire safety of electric vehicles, methods of early fire prevention based on an electrochemical mechanism, fire protection at the level of electrochemical reactions, improvement of cell design and fire detection is presented. The prospects of improving fireproof structures are considered.

**Key words:** electric vehicles, batteries, fire safety, overview.

*Электротехника, 2023, №12, стр. 65-70*

### **Метод балансировки фазного тока в многофазных преобразователях постоянного тока**

ФАРРАХОВ Д.Р., ВАВИЛОВ В.Е., РАХМАН Н.Мд.

Дисбаланс фазных токов в многофазных преобразователях постоянного тока связан с неидеальными характеристиками каждой ветви и компонентов драйвера, включая сопротивление открытого канала MOSFET, задержку драйвера и пассивные компоненты схемы. Асимметрия токов каждой ветви снижает КПД, стабильность и надежность многофазных преобразователей, а также нарушает работу коммутирующих транзисторов и приводит к насыщению дросселя. Предложен простой метод балансировки фазного тока, предотвращающий электромагнитные помехи. Предлагаемая модель также содержит механизм управления динамическим переключением нагрузки.

**Ключевые слова:** многофазный понижающий преобразователь, балансировка тока, алгоритм управления.

The imbalance of phase currents in multiphase DC converters is associated with non-ideal characteristics of each branch and driver components, including the resistance of the open MOSFET channel, driver delay and passive circuit components. The asymmetry of the currents of each branch reduces the efficiency, stability and reliability of multiphase converters, as well as disrupts the operation of switching transistors and leads to saturation of the choke. A simple method of phase current balancing is proposed to prevent electromagnetic interference. The proposed model also contains a dynamic load switching control mechanism.

**Key words:** multiphase step-down converter, current balancing, control algorithm.

*Электротехника, 2023, №12, стр. 71-78*

### **Влияние старения трансформаторного масла на остаточный ресурс трансформатора и его диагностические параметры**

СЕРЕБРЯКОВ А.С., СЕМЕНОВ Д.А., СБИТНЕВ Е.А., СИДОРОВА А.В.

Рассмотрен один из методов диагностики главной изоляции силовых масляных трансформаторов. Представлены результаты испытаний главной изоляции двух различных по назначению и конструкции трансформаторов – распределительного и печного в трех режимах – без бака и масла; без масла с баком; в баке с залитым маслом. По результатам испытаний установлено, что старение трансформаторного масла характеризуется быстро затухающей экспонентой. Исходя из этого, можно своевременно в соответствии с техническим состоянием трансформатора провести его ремонт, предотвратив внезапный отказ трансформатора.

**Ключевые слова:** силовые масляные трансформаторы, старение изоляции, остаточный ресурс изоляции, техническая диагностика.

One of the methods of diagnostics of the main insulation of power oil transformers is considered. The results of tests of the main insulation of two transformers of different purpose and design – distribution and furnace in three modes – without a tank and oil; without oil with a tank; in a tank filled with oil. According to the test results, it was found that the aging of transformer oil is characterized by a rapidly fading exponent. Proceeding from this, it is possible to carry out its repair in a timely manner in accordance with the technical condition of the transformer, preventing a sudden failure of the transformer.

**Key words:** power oil transformers, insulation aging, residual insulation life, technical diagnostics.

*Электротехника, 2023, №12, стр. 78-84*

### **Моделирование режима ВЛ по уравнениям длинной линии с учетом потерь на корону**

БАЛАМЕТОВ А.Б.

Измерениями потерь активной мощности на корону в воздушных линиях (ВЛ) сверхвысокого напряжения (СВН) установлено, что эти потери являются функцией напряжения (4–8)-й степени. Предложены методика, алгоритм и программная реализация

моделирования потерь активной мощности на корону функцией напряжения с учетом распределения напряжения вдоль линии. Разработана программа в виде вычислительного модуля на основе уравнения длинной линии; потери активной мощности на корону учтены в виде нелинейной проводимости. Программа может быть использована для моделирования установившихся режимов ВЛ переменного тока, а также при проектировании, анализе режимов оптимальной эксплуатации, сравнительном анализе точности упрощенных моделей.

**Ключевые слова:** воздушная линия, уравнения длинной линии, потери на корону, распределённые параметры, упрощенные модели, эквивалентная  $\pi$ -схема.

Measurements of active power losses to the corona in overhead lines (overhead lines) of ultrahigh voltage (SVN) have established that these losses are a function of voltage (4-8)-th degree. The methodology, algorithm and software implementation of modeling of active power losses on the corona by the voltage function taking into account the voltage distribution along the line are proposed. A program has been developed in the form of a computational module based on the long line equation; active power losses per corona are taken into account in the form of nonlinear conductivity. The program can be used to simulate steady-state modes of AC overhead lines, as well as in the design, analysis of optimal operation modes, comparative analysis of the accuracy of simplified models.

**Keywords:** air line, long line equations, corona losses, distributed parameters, simplified models, equivalent  $\pi$ -scheme.

*Электротехника, 2023, №12, стр. 85-86*

**Авторы номера**

*Электротехника, 2023, №12, стр. 87-93*

**Список статей, опубликованных в 2013 г.**