

*Электротехника, 2023, №4, стр. 1-1*

## **Содержание**

*Электротехника, 2023, №4, стр. 2-2*

**Издательству «ЗНАК» – 30 лет!**

*Электротехника, 2023, №4, стр. 3-7*

### **Электропривод открывания днища ковша экскаватора: проектирование и анализ системы управления**

**МАЛАФЕЕВ С.И.**

Рассматриваются результаты анализа и синтеза новой системы управления электроприводом постоянного тока открывания днища ковша карьерного экскаватора. В электроприводе использован принцип подчиненного регулирования координат с подчиненным контуром тока и главной обратной связью по напряжению. В электроприводе в исходном состоянии задана частота вращения, равная номинальной частоте электродвигателя, а в регуляторе тока установлено ограничение, соответствующее моменту подтягивания троса. При действии сигнала на разгрузку ковша в регуляторе тока установлено ограничение тока, соответствующее моменту, превышающему приведенный момент силы трения в механизме засова. После выдергивания засова схема возвращается в исходное состояние. В регуляторе тока установлено ограничение, соответствующее режиму подтягивания троса; в этом режиме предусмотрено ослабление тока возбуждения двигателя. Приведены основные расчетные соотношения для определения нагрузок, выбора двигателя привода и коэффициента ослабления тока возбуждения. Электропривод предназначен для использования на карьерных экскаваторах.

**Ключевые слова:** карьерный экскаватор, ковш, электропривод, двигатель постоянного тока, обратная связь, регулятор, моделирование.

The results of the analysis and synthesis of a new control system for a DC electric drive for opening the bottom of a bucket of a quarry excavator are considered. The electric drive uses the principle of subordinate coordinate regulation with a subordinate current loop and a main voltage feedback. In the electric drive, in the initial state, the rotation frequency is set equal to the rated

frequency of the electric motor, and a limit is set in the current regulator corresponding to the moment of pulling the cable. When a signal is applied to unloading the bucket, a current limit is set in the current regulator corresponding to a moment exceeding the specified moment of friction force in the bolt mechanism. After pulling the bolt, the circuit returns to its original state. The current regulator has a restriction corresponding to the cable tightening mode; in this mode, the motor excitation current is attenuated. The basic calculation ratios for determining the loads, the choice of the drive motor and the coefficient of attenuation of the excitation current are given. The electric drive is designed for use on quarry excavators.

**Key words:** quarry excavator, bucket, electric drive, DC motor, feedback, regulator, modeling.

*Электротехника, 2023, №4, стр. 8-14*

### **Модельно-алгоритмическое обеспечение для автоматизированного электропривода системы слежения за Солнцем**

ГРЕКОВ Э.Л., ШЕЛЕХОВ Е.С.

Разработано модельно-алгоритмическое обеспечение для автоматизированного электропривода системы слежения за Солнцем без светочувствительных сенсоров для территорий с частым ухудшением погодных условий. Выведены зависимости, позволяющие определить азимут и угол склонения солнечных лучей от номера дня в году и времени суток для любой широты земного шара. В виде блок-схемы разработан и представлен универсальный алгоритм работы системы позиционирования. На примере двух линейной системы поворота солнечного трекера проиллюстрирована применимость полученного модельно-алгоритмического обеспечения.

**Ключевые слова:** система слежения за Солнцем, автоматизированный электропривод, модельно-алгоритмическое обеспечение.

A model-algorithmic software has been developed for an automated electric drive of a sun tracking system without photosensitive sensors for territories with frequent deterioration of weather conditions. Dependences are derived to determine the azimuth and angle of declination of the sun's rays from the number of the day in the year and the time of day for any latitude of the globe. In the form of a flowchart, a universal algorithm for the operation of the positioning system is developed and presented. The applicability of the obtained model-algorithmic support is illustrated by the example of a two-linear solar tracker rotation system.

**Key words:** solar tracking system, automated electric drive, model-algorithmic support.

*Электротехника, 2023, №4, стр. 15-19*

**Эффект возрастания амплитуды импульсных помех при распространении по судовым кабелям**

ВОРШЕВСКИЙ А.А., ВОРШЕВСКИЙ П.А., ДМИТРИЕВ Б.Ф.

Рассмотрено распространение импульсных помех по судовым кабелям с учетом изменения волнового сопротивления, параметров нагрузки и многократных отражений. Определены условия роста напряжения импульсной помехи на конце кабеля в 2-7 раз. Показана возможность возникновения восьмикратных перенапряжений длительностью до единиц микросекунд. Распространение импульсных помех должны быть учтено при оценке максимального уровня импульсных помех в цепи питания электронного оборудования.

**Ключевые слова:** судовые кабели, импульсные помехи, волновое сопротивление, волна напряжения.

The propagation of pulse interference along ship cables is considered, taking into account changes in wave resistance, load parameters and multiple reflections. The conditions for the growth of the pulse interference voltage at the end of the cable by 2-7 times have been determined. The possibility of occurrence of eightfold overvoltages lasting up to units of microseconds is shown. The propagation of pulse interference should be taken into account when assessing the maximum level of pulse interference in the power supply circuit of electronic equipment.

**Key words:** ship cables, pulse interference, wave resistance, voltage wave.

*Электротехника, 2023, №4, стр. 20-24*

**Опыт регистрации высших гармоник токов промышленной частоты на стенде для измерения теллурических токов**

ВАСИЛЬЕВ И., АНДРЕЕВ А., КАПЫТИН В., МУКАШЕВА С.

Изложены результаты измерения токов высших гармоник при помощи прибора для измерения теллурических токов с предельной полосой регистрации 250 кГц. Для оцифровки информации используется четырёхканальный 18-разрядный аналого-цифровой преобразователь с частотой дискретизации 500000 Гц (1 отсчёт за 2 мкс). На стенде, созданном на базе разработанного прибора, зафиксированы токи промышленной частоты,

протекающие по земле. Зафиксированы динамические спектрограммы гармоник тока в статическом режиме и при коммутации нагрузок потребителей электроэнергии. Показано, что на частотах 60 кГц и выше фиксируются повышенные уровни высокочастотных помех. Показана возможность разработки специального прибора для проведения непрерывного контроля уровней высокочастотных гармоник токов, протекающих по нейтрали, без непосредственного подключения измерительного прибора к оборудованию электроснабжения.

**Ключевые слова:** теллурический ток, геомагнитно индуцированный ток, высокочастотные помехи, аналого-цифровой преобразователь, динамические спектрограммы гармоник тока, экспериментальный стенд.

The results of measuring the currents of higher harmonics using a device for measuring telluric currents with a maximum registration band of 250 kHz are presented. To digitize information, a four-channel 18-bit analog-to-digital converter with a sampling frequency of 500,000 Hz (1 count per 2 microseconds) is used. On the stand, created on the basis of the developed device, industrial frequency currents flowing through the ground are recorded. Dynamic spectrograms of current harmonics are recorded in static mode and when switching loads of electricity consumers. It is shown that elevated levels of high-frequency interference are recorded at frequencies of 60 kHz and higher. The possibility of developing a special device for continuous monitoring of the levels of high-frequency harmonics of currents flowing through the neutral is shown, without directly connecting the measuring device to the power supply equipment.

**Key words:** telluric current, geomagnetically induced current, high-frequency interference, analog-to-digital converter, dynamic spectrograms of current harmonics, experimental stand.

*Электротехника, 2023, №4, стр. 25-29*

### **Экспериментальное определение статических характеристик нагрузки в узлах распределительных и системообразующих сетей**

САФОНОВ В.И., ДЗЮБА М.А., КОРЖОВ А.В., ТАРАСЕНКО В.В.

Предложен новый алгоритм обработки экспериментальных данных, основанный на выделении реакции нагрузки на изменение напряжения из всего объема экспериментальных данных. На каждом шаге итерации составляется система линейных уравнений, в которых количество уравнений значительно больше количества

неизвестных. Решение системы выполняется методом псевдообратных матриц. Алгоритм апробирован на модели «экспериментальных» данных, сгенерированных при заданной статической характеристике нагрузки. Дальнейшее восстановление коэффициентов статической характеристики нагрузки показало быструю сходимость алгоритма к истинным значениям коэффициентов статической характеристики. Алгоритм применен для обработки данных активного эксперимента, проведенного в узле сети 110кВ.

**Ключевые слова:** распределительная сеть, статические характеристики нагрузки, обработка экспериментальных данных, псевдообратные матрицы.

A new algorithm for processing experimental data is proposed, based on the isolation of the load response to voltage changes from the entire volume of experimental data. At each iteration step, a system of linear equations is compiled in which the number of equations is significantly greater than the number of unknowns. The solution of the system is performed by the method of pseudo-inverse matrices. The algorithm has been tested on a model of "experimental" data generated at a given static load characteristic. Further restoration of the coefficients of the static characteristic of the load showed the rapid convergence of the algorithm to the true values of the coefficients of the static characteristic. The algorithm is used to process data from an active experiment conducted in a 110 kV network node.

**Key words:** distribution network, static load characteristics, experimental data processing, pseudo-inverse matrices.

*Электротехника, 2023, №4, стр. 30-38*

### **Особенности охлаждения токовводов (концевых устройств) силовых кабелей на основе высокотемпературных сверхпроводников**

БУЯНОВ Ю.Л.

Рассмотрены конструктивные схемы и способы охлаждения высоковольтных концевых устройств (токовводов) силовых сверхпроводящих кабелей на основе высокотемпературных сверхпроводников. На базе теоретических тепловых моделей, описывающих распределение температуры и теплового потока вдоль токовводов при идеальном и реальном теплообмене, проведён анализ их работы в условиях охлаждения газообразным азотом или гелием. Показано изменение соотношения оптимальных плотностей тока и удельных теплопритоков к источнику холода в зависимости от расхода и природы охлаждающего газа. Количественно определено, что применение газообразного гелия для охлаждения токоведущих элементов концевого устройства даёт

существенный эффект по сравнению с азотом.

**Ключевые слова:** ВТСП силовые кабели, газоохлаждаемые токовводы, конструкция концевых устройств, способы криогенного охлаждения.

Design schemes and methods for cooling high-voltage terminals (current leads) of power superconducting cables based on high-temperature superconductors are considered. On the basis of theoretical thermal models describing the distribution of temperature and heat flow along the current leads under ideal and real heat transfer, an analysis was made of their operation under conditions of cooling with gaseous nitrogen or helium. The change in the ratio of optimal current densities and specific heat inflows to the cold source is shown depending on the flow rate and nature of the cooling gas. It has been quantitatively determined that the use of gaseous helium for cooling the current-carrying elements of the terminals gives a significant effect compared to nitrogen.

**Key words:** HTS power cables, gas-cooled current leads, design of terminals, cryogenic cooling methods.

*Электротехника, 2023, №4, стр. 39-46*

### **Высокочастотные модели индуктивных датчиков для регистрации частичных разрядов в изоляции электрооборудования**

ЖУЙКОВ А.В., КОЛПАКОВА П.А., МАТВЕЕВ Д.А., ФРОЛОВ М.В., ХРЕНОВ С.И.

Рассмотрены схемы замещения датчиков частичных разрядов (ЧР) индуктивного типа и приведены соотношения для расчета их параметров на заданной частоте по результатам измерений частотных характеристик датчиков. Расчет переходных процессов по таким моделям имеет приемлемую точность только на одной, заранее определенной частоте переходного процесса. Предложен способ строгого учета частотных зависимостей параметров датчиков ЧР, осуществляемого с помощью техники векторной аппроксимации частотных характеристик и моделирования датчика системами уравнений состояния, решаемыми совместно с дифференциальными уравнениями остальной цепи. Этот подход реализован в среде MATLAB Simulink.

**Ключевые слова:** изоляция электрооборудования, частичные разряды, индуктивные датчики, высокочастотные модели, метод векторной аппроксимации.

Replacement schemes of inductive type partial discharge (CR) sensors are considered and relations are given for calculating their parameters at a given frequency based on the results of measurements of the frequency characteristics of sensors. The calculation of transients using such models has acceptable accuracy only at one, pre-determined frequency of the transient process. A method is proposed for strict accounting of the frequency dependencies of the parameters of the CR sensors, carried out using the technique of vector approximation of frequency characteristics and modeling of the sensor by systems of equations of state solved together with the differential equations of the rest of the circuit. This approach is implemented in the MATLAB Simulink environment.

**Key words:** isolation of electrical equipment, partial discharges, inductive sensors, high-frequency models, vector approximation method.

*Электротехника, 2023, №4, стр. 47-50*

**Применение полимерных пленок в высоковольтных изоляционных конструкциях**  
ВАРИВодов В.Н., КОВАЛЕВ Д.И., ГОЛУБЕВ Д.В., ЕЛФИМОВ С.А., НЕСТЕРЕНКО  
А.А., ГЛЕБОВ В.А.

Рассмотрены основные свойства и области применения полимерных плёнок в изоляционных конструкциях высокого напряжения, предложены технические решения по использованию модифицированных пленок с применением пропитки жидкими и газообразными средами, выполнены расчеты, подтверждающие улучшение электроизоляционных характеристик такой изоляции. Для оценки изменения электроизоляционных свойств газов, пропитывающих пленочную изоляцию выполнен расчет параметров при различном давлении. На основе полученных данных установлено повышение электрической прочности газов пропорционально росту давления. Подчеркнута необходимость улучшения свойств полимерной пленочной изоляции путём пропитки газами с увеличенным давлением.

**Ключевые слова:** плёночная полимерная изоляция, элегазовая изоляция, электрическая прочность, частичные разряды.

The main properties and applications of polymer films in high-voltage insulation structures are considered, technical solutions for the use of modified films with the use of impregnation with liquid and gaseous media are proposed, calculations confirming the improvement of the

electrical insulation characteristics of such insulation are performed. To assess the changes in the electrical insulating properties of gases impregnating the film insulation, the parameters were calculated at different pressures. Based on the data obtained, an increase in the electrical strength of gases is found to be proportional to the increase in pressure. The necessity of improving the properties of polymer film insulation by impregnation with gases with increased pressure is emphasized.

**Key words:** polymer film insulation, gas insulation, electrical strength, partial discharges.

*Электротехника, 2023, №4, стр. 51-58*

**Распределение электрического поля в токопроводах с полимерно-газовой изоляцией для оффшорных электроустановок**

ГОЛУБЕВ Д.В., КОВАЛЕВ Д.И., ВАРИВодОВ В.Н., ЕЛФИМОВ С.А., НЕСТЕРЕНКО А.А., ГЛЕБОВ В.А.

Приведены результаты исследований распределения электрического поля в токопроводах с комбинированной полимерно-газовой изоляцией для передачи электроэнергии оффшорных ветроустановок. Предварительно установлены основные этапы расчета и определены области конструкции токопровода, наиболее сложные для вычислений.

Рассматриваемый тип токопровода предназначается для прокладки в море для передачи электрической энергии от ветроустановок, где для повышения электрической прочности и сокращения габаритов токопровода используется полимерное покрытие токоведущих элементов, а для снижения потерь электроэнергии применяется основная газовая изоляция. Разработана математическая модель и выполнен расчет распределения потенциала и напряженности электрического поля внутри изоляционного слоя твердой и газовой комбинированной изоляции. Определен характер изменения напряженности электрического поля в изоляционных слоях токопровода и сделаны выводы о достаточности характеристик комбинированной полимерно-газовой изоляции для практического применения.

**Ключевые слова:** ветроустановки, токопроводы с полимерно-газовой изоляцией, распределение электрического поля, допустимая напряженность, математическая модель.

The results of studies of the distribution of the electric field in current pipelines with combined polymer-gas insulation for the transmission of electricity offshore wind turbines are presented.

The main stages of calculation are preliminarily established and the areas of the current pipeline design that are the most difficult for calculations are determined. The considered type of current pipeline is intended for laying in the sea for the transmission of electric energy from wind turbines, where a polymer coating of current-carrying elements is used to increase the electrical strength and reduce the dimensions of the current pipeline, and basic gas insulation is used to reduce electricity losses. A mathematical model has been developed and the distribution of potential and electric field strength inside the insulating layer of solid and gas combined insulation has been calculated. The nature of the change in the electric field strength in the insulating layers of the current line is determined and conclusions are drawn about the sufficiency of the characteristics of the combined polymer-gas insulation for practical use.

**Key words:** wind turbines, current pipelines with polymer-gas insulation, electric field distribution, permissible intensity, mathematical model.

*Электротехника, 2023, №4, стр. 58-62*

#### **Влияние системы питания комбинированного электрофильтра на эффективность улавливания субмикронных аэрозольных частиц**

ТЕМНИКОВ А.Г., БЕЛОВА О.С., ЧЕРНЕНСКИЙ Л.Л., ОРЛОВ А.В., ЛЫСОВ Н.Ю.

Установлено, что на осаждение ультрадисперсных и мелкодисперсных аэрозольных частиц в комбинированном электрофильтре с электродной системой «иглы – фильтрующий элемент (металловолокно)» существенно влияют место приложения высокого напряжения отрицательной полярности и диапазон размеров субмикронных аэрозольных частиц. Установлены зависимости относительного изменения концентрации аэрозольных частиц от напряжения, приложенного к игольчатым электродам (прямая схема) или осадительному электроду (перевернутая схема). Выявлено, что прямая схема питания комбинированного электрофильтра более эффективна для улавливания аэрозольных частиц размером 1 мкм и более при напряжениях до 9-10 кВ. Установлено, что для улавливания аэрозольных частиц размером менее 0,5 мкм при напряжении питания выше 9 кВ обратная схема питания комбинированного электрофильтра оказывается эффективнее.

**Ключевые слова:** комбинированный электрофильтр, улавливание субмикронных аэрозолей, система питания высоким напряжением, прямая и перевернутая схемы, металлотканый фильтрующий элемент, эффективность осаждения.

It was found that the deposition of ultrafine and fine aerosol particles in a combined electrofilter with an electrode system «needle – filter element (metal fiber)» is significantly affected by the place of application of high voltage of negative polarity and the size range of submicron aerosol particles. The dependences of the relative change in the concentration of aerosol particles on the voltage applied to the needle electrodes (direct circuit) or the precipitation electrode (inverted circuit) are established. It was revealed that the direct power supply circuit of the combined electrofilter is more effective for capturing aerosol particles of 1 micron or more at voltages up to 9-10 kV. It has been found that for the capture of aerosol particles with a size of less than 0.5 microns at a supply voltage above 9 kV, the reverse power supply scheme of the combined electrofilter is more effective.

**Key words:** combined electrofilter, capture of submicron aerosols, high voltage power supply system, straight and inverted circuits, metal-woven filter element, deposition efficiency.

*Электротехника, 2023, №4, стр. 63-64*

**Авторы номера**

*Электротехника, 2023, №4, стр. 65-65*

**Яков Львович Фишлер**

(к 100-летию со дня рождения)