

Содержание

Электротехника, 2023, №8, стр. 3-9

Адаптивные модели с распределенной структурой для распознавания входных сигналов быстродействующих приложений релейной защиты

ВОРОБЬЕВ Е.С., УБАСЕВА М.В., АНТОНОВ В.И., ИВАНОВ Н.Г., СОЛДАТОВ А.В.

В быстродействующих приложениях релейной защиты решения принимаются на основе обработки сигналов на коротком окне наблюдения. Классические адаптивные модели сигнала, склонные к наращиванию своего порядка с целью повышения разрешающей способности, не справляются с задачей распознавания на коротком окне. В статье предложен новый подход к построению модели сигнала, основанный на применении адаптивного фильтра с распределённой структурой. Совершенство предложенной модели достигается благодаря исключению канонических фильтров контролируемых компонентов из конкурентной среды, возникающей в классическом адаптивном фильтре. Схема настройки фильтра с распределенной структурой представляет собой многоканальную систему, в каждом канале которой настраивается канонический фильтр на заграждение своего компонента; чем точнее настраивается каждый отдельный канонический фильтр, тем лучшие условия создаются для настройки остальных канонических фильтров и фильтра остаточного сигнала. Результаты вычислительного эксперимента подтверждают высокие показатели адаптивного фильтра с распределенной структурой по точности и быстродействию при распознавании входных сигналов релейной защиты.

Ключевые слова: релейная защита, цифровая обработка сигналов, адаптивный структурный анализ, адаптивные модели с распределенной структурой, метод Прони, канонический фильтр составляющей сигнала, фильтр остаточного сигнала, фильтр шума, составные фильтры.

In high-speed relay protection applications, decisions are made based on signal processing at a short observation window. Classical adaptive signal models, which tend to increase their order in order to increase resolution, do not cope with the task of recognition on a short window. The article proposes a new approach to the construction of a signal model based on the use of an

adaptive filter with a distributed structure. The perfection of the proposed model is achieved due to the exclusion of canonical filters of controlled components from the competitive environment arising in the classical adaptive filter. The filter tuning scheme with a distributed structure is a multi-channel system, in each channel of which a canonical filter is configured to block its component; the more precisely each individual canonical filter is configured, the better conditions are created for tuning the remaining canonical filters and the residual signal filter. The results of the computational experiment confirm the high performance of an adaptive filter with a distributed structure in terms of accuracy and speed when recognizing relay protection input signals.

Keywords: relay protection, digital signal processing, adaptive structural analysis, adaptive models with a distributed structure, Proni method, canonical component signal filter, residual signal filter, noise filter, composite filters.

Электротехника, 2023, №8, стр. 10-13

Изменение механических характеристик сплавов под действием тока молнии
ГУЩИН И.А., РЕЗЮКОВ И.В., РЕЗЮКОВА Л.В., АЛЕКСАНДРОВ Р.И., СЕМЕНОВ В.Л.
Снижение безопасности летательных аппаратов при воздействии разрядов молнии связано, в том числе, с изменением механических характеристик сплавов, из которых изготовлен корпус летательного аппарата. Для анализа последствий воздействия разрядов на экспериментальные образцы разработан генератор импульсов тока, имитирующий стадии развития молнии. Приведены результаты обработки полученной информации и сделаны выводы о изменении структуры и характеристик исследуемых образцов в зависимости от параметров разрядов.

Ключевые слова: летательные аппараты, ток молнии, канал разряда, конструкционные материалы, механические характеристики.

The decrease in the safety of aircraft when exposed to lightning discharges is associated, among other things, with a change in the mechanical characteristics of the alloys from which the aircraft body is made. To analyze the effects of discharges on experimental samples, a current pulse generator has been developed that simulates the stages of lightning development. The results of processing the received information are presented and conclusions are drawn about changes in

the structure and characteristics of the samples studied depending on the discharge parameters.

Keywords: aircraft, lightning current, discharge channel, structural materials, mechanical characteristics.

Электротехника, 2023, №8, стр. 14-17

Естественная термопара «сталь-медь» для фрикционных сварочных технологий
МИХАДАРОВ Д.Г., КАЛИНИН А.Г., ВАСИЛЬЕВ И.Н., ЗИНОВЬЕВА Е.Г., ПЕТРОСОВ Ю.М., ВАСИЛЬЕВ П.А.

Экспериментально исследованы возможности получения неразъемного соединения медных конструкций методом сварки трением с перемешиванием, используемого при изготовлении охладителей инверторов для тяговых электроприводов. Качество сварки обеспечивается непрерывным контролем температуры в точке контакта деталей как способа обратной связи для системы управления сварочным инструментом. Опробован способ непосредственного измерения температуры методом термо-ЭДС, как наиболее объективного и быстродействующего решения, по сравнению с датчиками температуры контактного и оптического принципа действия. Доказана корректность измерений, достаточная для контроля режима сварки, обеспечивающая повторяемость результатов, и техническая возможность реализации такой обратной связи общепромышленными средствами измерения.

Ключевые слова: неразъемные соединения медных конструкций, сварка трением с перемешиванием, термопара «сталь-медь», термо-ДС, коэффициент Зеебека.

The possibilities of obtaining an integral connection of copper structures by friction welding with mixing, used in the manufacture of inverter coolers for traction electric drives, have been experimentally investigated. Welding quality is ensured by continuous temperature control at the point of contact of the parts as a feedback method for the welding tool control system. A method of direct temperature measurement by the thermal EMF method has been tested, as the most objective and fast-acting solution, compared with temperature sensors of the contact and optical principle of operation. The correctness of the measurements, sufficient to control the welding mode, ensuring the repeatability of the results, and the technical possibility of implementing such feedback by general industrial measuring instruments have been proved.

Keywords: permanent joints of copper structures, friction welding with mixing, thermocouple «steel-copper», thermo-EMF, Seebeck coefficient.

Электротехника, 2023, №8, стр. 17-20

Устройство управления поляризованным электромагнитом

ЗАЙЦЕВ Н.Ю., ЗАЙЦЕВ Ю.М., ИВАНОВА С.П., МИХАЙЛОВА А.В., НИКИФОРОВ И.К., ПЕТРОВ В.Н.

Рассмотрено устройство управления двухобмоточным поляризованным электромагнитом, отмечены его недостатки. Предложена схема управления однообмоточным поляризованным электромагнитом, исключающая недостатки существующей схемы управления. Рассмотрены переходные процессы заряда и разряда конденсатора для обеспечения срабатывания и возврата поляризованного электромагнита.

Экспериментально подтверждена работоспособность предложенной схемы на основе составного транзистора.

Ключевые слова: поляризованный электромагнит, однообмоточный электромагнит, включающая обмотка, отключающая обмотка, вакуумный контактор, составной транзистор, схема Дарлингтона.

The control device of a two-winding polarized electromagnet is considered, its disadvantages are noted. A control scheme for a single-winding polarized electromagnet is proposed, eliminating the disadvantages of the existing control scheme. Transient processes of charge and discharge of a capacitor to ensure operation and return of a polarized electromagnet are considered. The operability of the proposed circuit based on a composite transistor has been experimentally confirmed.

Key words: polarized electromagnet, single-winding electromagnet, switching winding, disconnecting winding, vacuum contactor, composite transistor, Darlington circuit.

Локализация момента начала переходного процесса нейросетевыми программно-аппаратными средствами

АНДРЕЕВ О.Н., СЛАВУТСКИЙ Л.А., ТУТАЕВ Г.М., ВАСИЛЬЕВ Л.Н.

Точная локализация момента начала переходных процессов и возникновения искажений в электрических сигналах актуальна для быстродействующих защит и определения места повреждения. Для ее решения все чаще используются методы машинного обучения и аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС). В статье демонстрируются соответствующие возможности использования нейронных сетей простой архитектуры при их реализации в микропроцессорном оборудовании. Обученные и занесенные в интеллектуальные электронные устройства ИНС позволяют обрабатывать сигналы промышленной частоты и фиксировать начало переходных процессов в реальном времени. Программно-аппаратная реализация нейросетевых алгоритмов показана на примере контроля разности фаз сигналов и локализации момента начала искажений сигнала тока во вторичной обмотке трансформатора при его насыщении. Нейронные сети обучались на выборке из 10000 сигналов, заданных простыми аналитическими формулами со случайным варьированием всех параметров. Электрические сигналы для проверки и реализации нейроалгоритмов генерировались программно-аппаратным комплексом РЕТОМ. При частоте дискретизации сигнала промышленной частоты 48 точек на период время вычислений нейросетью в стандартном микропроцессорном устройстве с тактовой частотой 100 МГц не превышало 100 мкс, а момент начала переходного процесса фиксировался за интервал между двумя последовательными отсчетами сигнала. Оба рассмотренных алгоритма и способа обучения простейших ИНС могут использоваться как совместно, так и комплексно с другими методами структурного анализа сигналов, в том числе традиционными, такими как фильтр Фурье.

Ключевые слова: обработка сигналов, искусственные нейронные сети, нелинейные искажения, локализация начала переходного процесса.

The exact localization of the transient initial stage and the distortions occurrence in electrical signals is relevant task for high-speed protection and the fault location. To solve it, machine learning methods and artificial neural networks (ANN) are increasingly used. The paper demonstrates the corresponding possibilities to use simple architecture neural networks when they are implemented in microprocessor equipment. Trained and embedded in intelligent electronic devices, ANN allows industrial frequency signals processing and recording the

beginning of transients in real time. The hardware and software implementation of neural network algorithms is shown by the example of signals phase difference monitoring and the current signal distortion moment beginning localization in the transformer secondary winding when it is saturated. Neural networks were trained on a 10,000 signals sample given by simple analytical formulas with all parameters random variation. Electrical signals for checking and implementing neuro algorithms were generated by the software and hardware complex RETOM. At industrial frequency signal sampling rate of 48 samples per period, the calculation time by a neural network in a standard microprocessor device with a 100 MHz clock frequency did not exceed 100 microseconds, and the transient beginning moment the was fixed during the interval between two consecutive signal counts. Both considered algorithms and methods of the simplest ANN training can be used both jointly and comprehensively with other signals structural analysis methods, including traditional ones, such as the Fourier filter.

Key word: signal processing, artificial neural networks, nonlinear distortion, localization of the moment of the beginning of the transition process.

Электротехника, 2023, №8, стр. 24-31

Бездатчиковое управление тиристорным преобразователем частоты при пуске синхронной машины

ПАЙМУРЗОВ Е.Г., АФАНАСЬЕВ А.А., РУССОВА Н.В.

Предложен способ бездатчикового управления основан на одновременной работе каналов внешнего, внутреннего и перекрёстного управления. Способ эффективен в импульсном режиме работы системы «тиристорный преобразователь частоты – синхронная машина».

Канал внешнего управления повышает устойчивость к точности определения углового положения ротора синхронной машины, в особенности начального, при её неподвижном состоянии. Для повышения точности косвенного определения углового положения ротора определяются угол поворота ротора и фаза напряжения непроводящей фазы статора.

Канал перекрёстного управления сравнивает сигналы двух других каналов и по результату сравнению воздействует на них и синхронизирует работу инвертора с угловым положением ротора. Приведены результаты практической реализации предложенного способа бездатчикового управления.

Ключевые слова: синхронная машина, тиристорный преобразователь частоты, зависимый инвертор, бездатчиковое управление, косвенное определение углового положения ротора.

The method of sensorless control is proposed based on the simultaneous operation of external, internal and cross-control channels. The method is effective in the pulse mode of operation of the «thyristor frequency converter – synchronous machine» system. The external control channel increases the stability to the accuracy of determining the angular position of the rotor of a synchronous machine, especially the initial one, when it is stationary. To increase the accuracy of indirect determination of the angular position of the rotor, the angle of rotation of the rotor and the voltage phase of the non-conducting phase of the stator are determined. The cross control channel compares the signals of the other two channels and, based on the result of the comparison, affects them and synchronizes the operation of the inverter with the angular position of the rotor. The results of the practical implementation of the proposed sensor-free control method are presented.

Keywords: synchronous machine, thyristor frequency converter, dependent inverter, sensorless control, indirect determination of the angular position of the rotor.

Электротехника, 2023, №8, стр. 32-37

Исследование процессов накопления и диссипации зарядов статического электричества на поверхности полимерных диэлектриков с учетом нелинейных параметров

ЖУЛИКОВ С.С., КОВАЛЕВ Д.И.

Приведены результаты исследования процессов накопления и диссипации зарядов статического электричества (СЭ) на поверхности напольных полимерных покрытий толщиной 2–5 мм с учетом экспериментальной зависимости остаточной удельной объемной проводимости $\gamma_{\text{ост}}$ от нормальной составляющей напряженности электростатического поля в диапазоне $5 \cdot 10^3 - 1,5 \cdot 10^7$ В/м для диэлектриков с объемной проводимостью $10^{-9} - 10^{-12}$ Ом⁻¹·м⁻¹. Экспериментальные зависимости $\gamma_{\text{ост}} = f(E_N)$ были аппроксимированы с помощью компьютерной программы и введены в исходные дифференциальные уравнения, которые решались численным методом. Влияние релаксационной поляризации на процессы накопления и диссипации зарядов учитывалось введением в уравнения оптической (учитывает быструю поляризацию) и статической (учитывает релаксационную поляризацию) диэлектрических проницаемостей. По результатам расчетов сделан вывод о том, что нелинейная зависимость $\gamma_{\text{ост}} = f(E_N)$ существенно влияет на установившееся значение поверхностного потенциала диэлектрика при накоплении зарядов СЭ: ожидаемое значение установившегося потенциала снижается

в 6–10 раз по сравнению с омическим законом.

Ключевые слова: разряды статического электричества, напольное полимерное покрытие, поверхностный потенциал, оптическая диэлектрическая проницаемость, статическая диэлектрическая проницаемость, релаксационная поляризация, остаточная удельная объемная проводимость.

The results of the study of the processes of accumulation and dissipation of static electricity charges (SEC) on the surface of floor polymer coatings with a thickness of 2–5 mm are presented, taking into account the experimental dependence of the residual specific volumetric conductivity $\gamma_{\text{вост}}$ on the normal component of the electrostatic field strength in the range of $5 \times 10^3 - 1,5 \times 10^7$ V/m for dielectrics with a volumetric conductivity of $10^{-9} - 10^{-12}$ ohms $^{-1} \times \text{m}^{-1}$. The experimental dependences $\gamma_{\text{вост}} = f(E_N)$ were approximated using a computer program and introduced into the initial differential equations, which were solved numerically. The effect of relaxation polarization on the processes of accumulation and dissipation of charges was taken into account by introducing optical (takes into account fast polarization) and static (takes into account relaxation polarization) permittivity into the equations. Based on the results of calculations, it is concluded that the nonlinear dependence $\gamma_{\text{вост}} = f(E_N)$ significantly affects the steady-state value of the dielectric surface potential during the accumulation of SEC charges: the expected value of the steady-state potential decreases by 6–10 times compared to the ohmic law.

Keywords: static electricity discharges, floor polymer coating, surface potential, optical permittivity, static permittivity, relaxation polarization, residual specific volume conductivity.

Электротехника, 2023, №8, стр. 38-42

Численное исследование распределения магнитного поля в токопроводах с твердой изоляцией напряжением 10 кВ

КОВАЛЕВ Д.И., ГОЛУБЕВ Д.В., ВАРИВодОВ В.Н., ЖУЛИКОВ С.С., АКИНИН Н.А.

Приведены результаты исследования распределения магнитного поля промышленной частоты (МППЧ) в токопроводе напряжением 10 кВ на основе численного моделирования. Предварительно установлены основные этапы расчета и определены наиболее сложные для вычислений области конструкции токопровода. Разработана математическая модель и проведен упрощенный расчет распределения напряженности МППЧ внутри изоляционного слоя твердой изоляции. Определен характер изменения

напряженности МППЧ в изоляционном слое токопровода, получены максимальные ее значения. Сделаны выводы о соответствии конструкции токопровода требованиям электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности при его эксплуатации на объектах энергетики.

Ключевые слова: токопровод, твердая изоляция, магнитное поле промышленной частоты, распределение магнитного поля, электромагнитная совместимость, электромагнитная безопасность, математическая модель.

The results of a study of the distribution of the industrial frequency magnetic field (MPPF) in a 10 kV current line based on numerical simulation are presented. The main stages of calculation are preliminarily established and the most difficult areas of the current pipeline design for calculations are determined. A mathematical model has been developed and a simplified calculation of the intensity distribution of the MPPF inside the insulating layer of solid insulation has been carried out. The nature of the change in the intensity of the MPPF in the insulating layer of the current line is determined, its maximum values are obtained. Conclusions are drawn about the compliance of the current pipeline design with the requirements of electromagnetic compatibility and electromagnetic safety during its operation at energy facilities.

Keywords: current line, solid insulation, industrial frequency magnetic field, magnetic field distribution, electromagnetic compatibility, electromagnetic safety, mathematical model.

Электротехника, 2023, №8, стр. 43-49

Опытный образец высокочастотного агрегата питания электрофильтров

МАТВЕЕВ Д.А., ФРОЛОВ М.В., ХРЕНОВ С.И.

Рассмотрен опытный образец высокочастотного агрегата питания электрофильтров, характеризующийся низким уровнем пульсаций выходного напряжения и быстродействующей системой управления. Предложена принципиальная схема таких агрегатов, описан способ регулирования выходного напряжения, приведены экспериментальные осциллограммы параметров рабочего режима. Предложена схема замещения высокочастотного агрегата питания электрофильтров. Получены зависимости параметров выходного напряжения агрегата от уровня напряжения питающей сети, проанализировано влияние параметров высокочастотного повышающего трансформатора и резонансного контура на эти зависимости.

Ключевые слова: электрофильтр, высокочастотный агрегат питания, высокочастотный трансформатор.

A prototype of a high-frequency power supply unit for electric filters is considered, characterized by a low level of output voltage pulsations and a high-speed control system. A schematic diagram of such units is proposed, a method for regulating the output voltage is described, experimental waveforms of operating mode parameters are given. A replacement scheme for a high-frequency power supply unit for electrofilters is proposed. The dependences of the parameters of the output voltage of the unit on the voltage level of the supply network are obtained, the influence of the parameters of the high-frequency step-up transformer and the resonant circuit on these dependences is analyzed.

Keywords: electrofilter, high-frequency power supply unit, high-frequency transformer.

Электротехника, 2023, №8, стр.49-53

Физическое моделирование воздействия атмосферного электричества и молнии на оптические распределенные системы телекоммуникации

БЕЛОВА О.С., ТЕМНИКОВ А.Г., КАЗАНЦЕВ С.Ю., КОЛЕСНИКОВ О.В., ЛЫСОВ Н.Ю., ПАИМЦЕВ Г.П.

Представлены результаты физического моделирования воздействия атмосферного электричества и молнии на волоконно-оптические линии связи. Грозовое воздействие моделировалось с помощью установки «ГРОЗА», позволяющей создавать искусственные заряженные аэрозольные облака. Установка дополнена оптическим оборудованием, с помощью которого моделировался передаваемый по оптическому кабелю сигнал, и регистрировалась мощность оптического излучения. В центре бухты полностью диэлектрического оптического кабеля помещался заземленный стержневой электрод, принимающий на себя разряды из искусственного грозового облака, благодаря чему одновременно осуществлялась регистрация мощности оптического сигнала и параметров разряда; выполнены две серии экспериментов при длине кабеля 5 км и 50 м. Выявлено снижение мощности сигнала, передаваемого по волоконно-оптическому кабелю длиной 5 км, с ростом потенциала искусственного грозового облака, вероятно, обусловленное эффектом Керра. Для оптического кабеля длиной 50 м наблюдалась другая картина изменения мощности оптического сигнала. При разряде из заряженного аэрозольного

облака в центр бухты с кабелем регистрировалось быстрое, скачкообразное изменение мощности оптического сигнала. Предполагается, что это изменение связано с магнитооптическим эффектом Фарадея. Выполнено сопоставление параметров разряда и изменения мощности оптического сигнала; показана тенденция к росту изменения мощности оптического сигнала с ростом амплитуды импульса тока разряда.

Ключевые слова: волоконно-оптический кабель, искусственная грозовая ячейка, мощность оптического излучения, разрядные явления, атмосферное электричество, эффект Керра, эффект Фарадея.

The results of physical modeling of the effects of atmospheric electricity and lightning on fiber-optic communication lines are presented. The thunderstorm impact was simulated using the «THUNDERSTORM» installation, which allows creating artificial charged aerosol clouds. The installation was supplemented with optical equipment, with the help of which the signal transmitted via an optical cable was simulated, and the power of optical radiation was recorded. In the center of the bay of a fully dielectric optical cable, a grounded rod electrode was placed, receiving discharges from an artificial thunderstorm cloud, due to which the optical signal power and discharge parameters were simultaneously recorded; two series of experiments were performed at a cable length of 5 km and 50 m. A decrease in the power of the signal transmitted over a 5 km fiber-optic cable with an increase in the potential of an artificial thunderstorm cloud was revealed, probably due to the Kerr effect. For an optical cable with a length of 50 m, a different pattern of changes in the power of the optical signal was observed. When discharged from a charged aerosol cloud into the center of a bay with a cable, a rapid, abrupt change in the power of the optical signal was recorded. It is assumed that this change is due to the magneto-optical Faraday effect. The parameters of the discharge and the change in the power of the optical signal are compared; the tendency to increase the change in the power of the optical signal with an increase in the amplitude of the pulse of the discharge current is shown.

Keywords: fiber-optic cable, artificial lightning cell, optical radiation power, discharge phenomena, atmospheric electricity, Kerr effect, Faraday effect.

Электротехника, 2023, №8, стр. 54-60

Влияние орографических условий местности на методику расчета

молниепоражаемости воздушных линий электропередачи

КАЛУГИНА И.Е., ТЕМНИКОВ А.Г., ЧЕРНЕНСКИЙ Л.Л., ГУНДАРЕВА С.В.,
ВОРОНКОВА Е.М., МИРЗАБЕКЯН Г.З.

Рассмотрено влияние рельефа местности при расчете молниепоражаемости воздушных линий (ВЛ) электропередачи. Предложены и структурированы различные варианты представления рельефа трассы ВЛ в методике расчета. Показано, что изменение характеристик электрического поля, создаваемого отрицательным нисходящим ступенчатым лидером молнии и грозовым облаком, из-за особенностей трассы линии может быть учтено в методике через специальный массив коэффициентов, характеризующий искажение электрического поля. Представлены результаты расчетов, реализующих такой подход на примере одного из вариантов орографических особенностей трассы линии электропередачи – склона. Установлены тенденции изменения параметров электрического поля, создаваемого нисходящим лидером молнии в месте расположения ребра склона по мере приближения головки лидера к поверхности земли. Показано, что по мере приближения головки нисходящего лидера к земле наблюдается усиление составляющих напряженности у вершины склона, в то время как в области под склоном действует эффект экранирования поля (снижения напряженности). Отмечено, что учет орографических условий местности в методике расчета молниепоражаемости ВЛ не только влияет на результирующую вероятность формирования с элементов ВЛ встречных восходящих разрядов, но и позволяет учитывать возможность возникновения восходящих встречных лидерных разрядов.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, молниепоражаемость, орографические условия, восходящий встречный лидер, характеристики электрического поля, методика расчета.

The influence of terrain in the calculation of lightning transmission of overhead power lines (overhead lines) is considered. Various variants of the representation of the relief of the overhead line route in the calculation method are proposed and structured. It is shown that the change in the characteristics of the electric field created by a negative descending stepped lightning leader and a thundercloud, due to the peculiarities of the line route, can be taken into account in the methodology through a special array of coefficients characterizing the distortion of the electric field. The results of calculations implementing this approach are presented on the example of one of the variants of the orographic features of the route of the power line – the slope. The tendencies of changing the parameters of the electric field created by the descending lightning leader at the location of the slope edge as the leader's head approaches the earth's surface are

established. It is shown that as the head of the descending leader approaches the ground, there is an increase in the components of tension at the top of the slope, while in the area under the slope, the effect of field shielding (reducing tension) is active. It is noted that taking into account the orographic conditions of the terrain in the method of calculating the lightning transmission of overhead lines not only affects the resulting probability of the formation of counter-ascending discharges from overhead line elements, but also allows taking into account the possibility of the occurrence of ascending counter-leading discharges.

Keywords: overhead power transmission line, lightning transmission, orographic conditions, ascending counter leader, electric field characteristics, calculation method.

Электротехника, 2023, №8, стр. 61-64

Исследование магнитного поля в токопроводах с полимерно-газовой изоляцией напряжением 35 кВ

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

Приведены результаты исследований распределения магнитного поля промышленной частоты (МППЧ) в токопроводе с полимерно-газовой изоляцией напряжением 35 кВ. Для повышения электрической прочности и сокращения габаритов токопровода используется полимерное покрытие токоведущих элементов, а для снижения потерь электроэнергии применяется основная газовая изоляция. Для токопровода с полимерно-газовой изоляцией разработана математическая модель и проведен расчет распределения напряженности магнитного поля внутри конструкции, а также за её пределами. Численным моделированием определен характер изменения напряженности МППЧ внутри токопровода, получена картина распределения МППЧ в токопроводе и за его пределами для определения допустимых расстояний, на которых обеспечиваются электромагнитная совместимость (ЭМС) размещаемого в непосредственной близости микропроцессорного оборудования и электромагнитная безопасность (ЭМБ) оперативного персонала.

Ключевые слова: токопровод, полимерно-газовая изоляция, распределение магнитного поля, допустимая напряженность, электромагнитная совместимость, электромагнитная безопасность, математическая модель.

The results of studies of the distribution of the industrial frequency magnetic field (IFMF) in a 35 kV polymer-gas insulated current line are presented. To increase the electrical strength and

reduce the dimensions of the current line, a polymer coating of the current-carrying elements is used, and basic gas insulation is used to reduce electricity losses. A mathematical model has been developed for a polymer-gas insulated current line and a calculation of the distribution of the magnetic field strength inside the structure, as well as outside it, has been carried out. Numerical modeling has determined the nature of the change in the intensity of the IFMF inside the current line, a picture of the distribution of the IFMF in the current line and beyond has been obtained to determine the permissible distances at which electromagnetic compatibility (EMC) of microprocessor equipment placed in close proximity and electromagnetic safety (EMS) of operational personnel are ensured.

Keywords: current line, polymer-gas insulation, magnetic field distribution, permissible strength, electromagnetic compatibility, electromagnetic safety, mathematical model.

Электротехника, 2023, №8, стр.65-69

Испытание на стойкость к трекингу оптических кабелей типа ADSS

БОЕВ М.А., ЧУНЬЮЙ СУЙ, ТАРАНОВ А.В.

Приведены результаты исследования оптического кабеля типа ADSS на стойкость к трекингу. Кабель предназначен для линии зонной связи, которую монтируют на опорах высоковольтных линии электропередачи. Конструкция этого кабеля отличается от аналогичных отсутствием токопроводящих элементов. Внешняя изоляционная оболочка такого кабеля выполнена из полимеров, устойчивых к воздействию электрических разрядов, приводящих к повреждению поверхности оболочки. Рассмотрены методы испытаний по оценке кабеля на трекинговую стойкость и приведены результаты экспериментальных исследований одним из этих методов.

Ключевые слова: оптический кабель типа ADSS, защитная оболочка, изоляция, трекинг.

The results of the study of an optical cable of the ADSS type for resistance to trekking are presented. The cable is intended for a zone communication line, which is mounted on supports of high-voltage power transmission lines. The design of this cable differs from similar ones in the absence of conductive elements. The outer insulating shell of such a cable is made of polymers resistant to the effects of electrical discharges that lead to damage to the surface of the shell. The test methods for evaluating the cable for tracking resistance are considered and the results of

experimental studies using one of these methods are presented.

Keywords: ADSS type optical cable, protective shell, insulation, tracking.

Электротехника, 2023, №8, стр. 70-76

Синтез регулятора синхронизации передвижения опор порталного механизма
АНОСОВ В.Н., КАВЕШНИКОВ В.М., ОРЕЛ Е.О.

Рассмотрена процедура синтеза регулятора движения порталных механизмов, используемых в составе кранов-перегрузателей и других механизмов, использующих порталы с широким пролетом, при котором синхронное движение обеих опор портала обеспечивает производительную и безаварийную работу портала в целом. Для разработки оптимального регулятора используется принцип максимума, обеспечивающий необходимые, а для линейных систем и достаточные условия оптимальности. Определены функционал и ограничения, наложенные на управление, обеспечивающие плавность движения портала при соблюдении точности позиционирования портала в целом. Получено необходимое для использования принципа максимума упрощенное математическое описание системы, отражающее существенные для разработчика свойства объекта. Приведен перечень принятых упрощений и допущений. Получены структура и параметры оптимального регулятора синхронизации. Для доказательства эффективной работы в составе реальной системы использовано имитационное моделирование в среде MATLAB.

Ключевые слова: порталный механизм, синхронизация движений, позиционирование, принцип максимума, регулятор синхронизации, синтез регулятора, векторное управление, имитационное моделирование.

The procedure of synthesis of the movement regulator of portal mechanisms used as part of cranes and other mechanisms using portals with a wide span, in which the synchronous movement of both portal supports ensures productive and trouble-free operation of the portal as a whole, is considered. To develop an optimal regulator, the maximum principle is used, which provides the necessary, and for linear systems, sufficient optimality conditions. The functionality and restrictions imposed on the management are defined, ensuring smooth movement of the portal while observing the accuracy of positioning of the portal as a whole. The simplified mathematical description of the system necessary for the use of the maximum principle is obtained, reflecting the essential properties of the object for the developer. The list of accepted

simplifications and assumptions is given. The structure and parameters of the optimal synchronization controller are obtained. Simulation modeling in the MATLAB environment was used to prove effective operation as part of a real system.

Key words: portal mechanism, motion synchronization, positioning, maximum principle, synchronization controller, controller synthesis, vector control, simulation modeling.

Электротехника, 2023, №8, стр. 77-79

Авторы номера

Электротехника, 2023, №8, стр. 80-80

Андросов Николай Николаевич

(Некролог)