

Содержание

Электротехника, 2023, №10, стр.2-7

Построение моделей цифровых двойников электротехнической инфраструктуры железных дорог для оценки ресурса её нагрузочной способности

МИТРОФАНОВ А.Н., ГАРАНИН М.А., ОКЛАДОВ С.А.

Представлен подход к построению цифровых двойников для оценки ресурса нагрузочной способности электротехнической инфраструктуры железных дорог на направлениях тяжеловесного движения. В рамках подхода предложено выбирать компоненты модели цифрового двойника среди показателей перевозочного процесса и хозяйств, обеспечивающих перевозочный процесс методами корреляционного и кластерного анализа. Определено, что ресурс нагрузочной способности электротехнической инфраструктуры железных дорог будет обеспечиваться при выполнении условий, при которых прогнозные объемы электропотребления, определенные посредством показателей нагрузочной способности системы тягового электроснабжения будут находиться на уровне не менее максимальных значений прогнозных объемов электропотребления.

Ключевые слова: железные дороги, электротехническая инфраструктура, цифровые двойники, энергообеспечение тяги поездов, расход электроэнергии, корреляционная связь, кластерный анализ, прогнозирование расхода электроэнергии.

An approach to the construction of digital doubles for assessing the resource of the load capacity of the electrical infrastructure of railways in the directions of heavy traffic is presented. Within the framework of the approach, it is proposed to select the components of the digital twin model among the indicators of the transportation process and farms that provide the transportation process by correlation and cluster analysis methods. It is determined that the resource of the load capacity of the electrical infrastructure of railways will be provided under conditions under which the projected volumes of electricity consumption determined by the indicators of the load capacity of the traction power supply system will be at a level not less than the maximum values of the projected volumes of electricity consumption.

Keywords: railways, electrical infrastructure, digital twins, power supply of train traction, electricity consumption, correlation, cluster analysis, forecasting of electricity consumption.

Сравнительный анализ эффективности статистических алгоритмов подавления помех в сигналах автоматической локомотивной сигнализации

ЗАСОВ В.А., РОМКИН М.В., ТРЕТЬЯКОВ Г.М.

Задача подавления помех в сигналах автоматической локомотивной сигнализации рассматривается как задача разделения сигналов локомотивной сигнализации и помех в аддитивной смеси этих сигналов. Для решения этой задачи предлагается применять статистические алгоритмы разделения сигналов, основанные на априорной информации о свойствах источников сигналов. Исследование возможностей статистических алгоритмов подавления помех выполнено на основе вычислительных экспериментов с эталонными сигналами. На основе результатов вычислительных экспериментов представлен сравнительный анализ эффективности статистических алгоритмов в условиях воздействия на рельсовый канал различных видов помех. Вычислительные эксперименты показали, что применение статистических алгоритмов позволяет подавлять помехи, уровень которых сопоставим с уровнем сигналов локомотивной сигнализации.

Ключевые слова: локомотивная сигнализация, подавление помех, гармонические / импульсные / шумовые / статистические, алгоритмы.

The problem of suppression of interference in signals of automatic locomotive signaling is considered as a problem of separation of signals of locomotive signaling and interference in an additive mixture of these signals. To solve this problem, it is proposed to use statistical algorithms for signal separation based on a priori information about the properties of signal sources. The study of the possibilities of statistical interference suppression algorithms was carried out on the basis of computational experiments with reference signals. Based on the results of computational experiments, a comparative analysis of the effectiveness of statistical algorithms under the conditions of exposure to various types of interference on the rail channel is presented. Computational experiments have shown that the use of statistical algorithms makes it possible to suppress interference, the level of which is comparable to the level of locomotive signaling signals.

Keywords: locomotive signaling, interference suppression, harmonic/pulse/noise/statistical algorithms.

Принцип построения автоматизированной системы мониторинга и диагностики напольных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики

ТАРАСОВ Е.М., ТАРАСОВА А.Е., НАДЕЖКИН В.А.

Приведена архитектура взаимодействия модулей автоматизированной системы мониторинга и диагностики с напольными устройствами железнодорожной автоматики и телемеханики. Рассмотрен пример работы системы контроля состояния рельсовых линий. Представлены различные функции автоматизированной системы мониторинга и диагностики, включая контроль состояния и исправности напольных устройств, контроль сопротивления изолирующих и токопроводящих стыков, прогнозирование возможных отказов и определения конкретного места их возникновения. Изложен принцип использования искусственных нейронных сетей для системы диагностики и мониторинга, рассмотрены различные модели обучения нейронных сетей и выявлена наиболее подходящая модель обучения.

Ключевые слова: устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, рельсовые линии, диагностика и мониторинг, нейронные сети, прогнозирование отказов, распознавание образов.

The architecture of interaction of modules of the automated monitoring and diagnostics system with floor devices of railway automation and telemechanics is given. An example of the operation of a system for monitoring the condition of rail lines is considered. Various functions of the automated monitoring and diagnostics system are presented, including monitoring the condition and serviceability of floor devices, monitoring the resistance of insulating and conductive joints, predicting possible failures and determining the specific location of their occurrence. The principle of using artificial neural networks for diagnostic and monitoring systems is described, various models of neural network training are considered and the most suitable training model is identified.

Keywords: railway automation and telemechanics devices, rail lines, diagnostics and monitoring, neural networks, failure prediction, pattern recognition.

Схемная реализация аналогового сигнализатора асимметрии тягового тока

ИСАЙЧЕВА А.Г., БАШАРКИН М.В., СОЛДАТОВ А.А., ШАШИН Д.А.

Предложено реализовать аналоговый сигнализатор асимметрии тягового тока, интегрируемый в существующие системы технического диагностирования и мониторинга железнодорожной автоматики и телемеханики. Разработаны два схемных решения блока нелинейных операций сигнализатора. Проведен анализ работы аналогового сигнализатора в пакете компьютерного моделирования Micro-Cap, который показал зависимость характеристик диодов от температуры в предложенной схеме, что существенно влияет на работу устройства. Для устранения выявленных недостатков необходимо на следующем этапе дополнить разработанный сигнализатор модулем термокомпенсации.

Ключевые слова: тяжеловесное движение, рельсовая цепь, сигнализатор, тяговый ток, предотказное состояние, импортозамещение, аналоговое устройство, микроконтроллер.

It is proposed to implement an analog traction current asymmetry alarm integrated into existing systems of technical diagnostics and monitoring of railway automation and telemechanics. Two circuit solutions of the block of nonlinear signaling operations have been developed. An analysis of the operation of an analog signaling device in the Micro-Cap computer simulation package was carried out, which showed the dependence of the characteristics of the diodes on the temperature in the proposed scheme, which significantly affects the operation of the device. To eliminate the identified shortcomings, it is necessary to supplement the developed alarm with a thermal compensation module at the next stage.

Keywords: heavy-weight movement, rail circuit, signaling device, traction current, pre-failure condition, import substitution, analog device, microcontroller.

Моделирование нагрева контактной подвески при профилактическом подогреве в условиях движения поездов

ДОБРЫНИН Е.В., БОГДАНОВА К.В., КОМОЛОВ А.А., ГОРДЕЕВ И.П.

Проанализировано изменение температуры контактной подвески при движении поезда. Моделирование выполнено на базе электронных таблиц по уравнениям теплового баланса с учетом распределения тока нагрузки движущегося электроподвижного состава и работы

системы профилактического подогрева контактной подвески. Описан алгоритм управления вольтодобавочными устройствами, которые используются при профилактическом подогреве контактной подвески без ограничения движения поездов.

Ключевые слова: системы тягового электроснабжения, контактная сеть, электроподвижной состав, профилактический подогрев, моделирование.

The article analyzes the temperature change of the contact suspension during the movement of the train. The simulation was performed on the basis of spreadsheets according to the heat balance equations, taking into account the load current distribution of the moving electric rolling stock and the operation of the preventive heating system of the contact suspension. The algorithm of control of voltage-adding devices, which are used for preventive heating of the contact suspension without limiting the movement of trains, is described.

Keywords: traction power supply systems, contact network, electric rolling stock, preventive heating, modeling.

Электротехника, 2023, №10, стр.29-34

Интеллектуальный алгоритм автоматизированного управления переездной сигнализацией

ТРЕТЬЯКОВ Г.М., ТАРАСОВА А.Е., ТАРАСОВ Е.М.

Рассмотрена концепция интеллектуальных транспортных систем, представляющих собой интегрированную систему взаимодействия субъектов транспортной инфраструктуры «человек – транспортное средство». Представлены свойства таких систем, позволяющие отнести их к категории интеллектуальных. В частности, обсуждаются такие их характеристики как обучаемость, способность классификации и адаптация. В качестве примера рассмотрена автоматизированная система управления железнодорожными переездами, регулирующими потоки автотранспорта через железнодорожные пути. Предложен алгоритм, основанный на принципе интеллектуального управления с использованием машинного обучения и самонастройки при воздействии дестабилизирующих факторов. Также представлена структурная схема интеллектуальной системы управления ограждающими устройствами на железнодорожных переездах.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, автоматизированная система

управления переездной сигнализацией, машинное обучение, распознавание образов, увеличение пропускной способности.

The concept of intelligent transport systems representing an integrated system of interaction of subjects of transport infrastructure «man – vehicle» is considered. The properties of such systems are presented, which make it possible to classify them as intelligent. In particular, their characteristics such as learning ability, classification ability and adaptation are discussed. As an example, an automated control system for railway crossings regulating the flow of vehicles across railway tracks is considered. An algorithm based on the principle of intelligent control using machine learning and self-tuning under the influence of destabilizing factors is proposed. A block diagram of an intelligent control system for fencing devices at railway crossings is also presented.

Keywords: intelligent transport systems, automated crossing alarm control system, machine learning, pattern recognition, capacity increase.

Электротехника, 2023, №10, стр.35-38

Влияние гармонических помех от высоковольтных ЛЭП на помехоустойчивость приемника канала автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия

ЮСУПОВ Р.Р., ХОХРИН А.С., ГОРДЕЕВ И.П., БЛАЧЁВ К.Э.

Представлены результаты исследования помехоустойчивости приемника канала автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия (АЛСН) при воздействии синусоидальных помех от ЛЭП. Показано, что применение в приемнике блока с зоной нечувствительности позволяет эффективно бороться с синусоидальными помехами от ЛЭП в канале АЛСН. В результате применения такого блока интервал действия помехи от ЛЭП уменьшен с 11,7 до 4,5 с.

Ключевые слова: автоматическая локомотивная сигнализация, высоковольтная линия электропередачи, помехоустойчивость, нелинейные методы обработки сигнала, зона нечувствительности.

The results of a study of the noise immunity of the receiver of the continuous automatic locomotive signaling channel under the influence of sinusoidal interference from power lines are presented. It is shown that the use of a block with an insensitivity zone in the receiver makes it

possible to effectively combat sinusoidal interference from power lines in the automatic locomotive signaling channel. As a result of the use of such a block, the interference interval from the power line was reduced from 11.7 to 4.5 s.

Keywords: automatic locomotive signaling, high-voltage power transmission line, noise immunity, nonlinear signal processing methods, dead zone.

Электротехника, 2023, №10, стр.39-44

Имитационная модель кругового интерполятора, построенного по принципу дифференциальных анализаторов, на базе двухкоординатных следящих электроприводов с шаговым двигателем

САНДЛЕР И.Л., РУДАКОВ А.А., КОЛПАЦИКОВ С.А., ГОРДЕЕВ И. П., ТЕРЕХИН М.А.

Рассмотрено моделирование кругового интерполятора, построенного по принципу дифференциальных анализаторов, на базе двухкоординатных следящих электроприводов с шаговым электродвигателем средствами пакета MATLAB Simulink при обработке технологического радиуса окружности заготовки. Получена имитационная модель, включающая в себя модель кругового интерполятора и модели двух следящих электроприводов на базе шагового двигателя, осуществляющих движение, например, по координатам «X» и «Y» различных координатных станков с числовым программным управлением, использующих шаговый электродвигатель. Получены значения контурных ошибок следящих электроприводов при обработке радиуса окружности, а также графики переходных процессов следящих электроприводов при различных параметрах интерполяции. Полученные ошибки слежения необходимы не только для диагностирования инерционных свойств электропривода, но и могут рассматриваться как следствие корректировки системы управления в целом.

Ключевые слова: координатный станок с числовым программным управлением, круговая интерполяция, имитационная модель.

The modeling of a circular interpolator, built on the principle of differential analyzers, based on two-coordinate tracking electric drives with a stepper motor by means of the MATLAB Simulink package when processing the technological radius of the work piece circumference, is considered. A simulation model is obtained, which includes a model of a circular interpolator and models of two tracking electric drives based on a stepper motor that move, for example,

along the coordinates «X» and «Y» of various coordinate machines with numerical control using a stepper motor. The values of contour errors of tracking electric drives when processing the radius of a circle, as well as graphs of transients of tracking electric drives at various interpolation parameters are obtained. The resulting tracking errors are necessary not only for diagnosing the inertial properties of the electric drive, but can also be considered as a consequence of adjusting the control system as a whole.

Key words: coordinate machine with numerical control, circular interpolation, simulation model.

Электротехника, 2023, №10, стр.45-49

Алгоритм мониторинга переходного сопротивления сборного токопроводящего рельсового стыка

БАШАРКИН М.В., ИСАЙЧЕВА А.Г.

Сборный токопроводящий рельсовый стык (СТРС) является одним из наименее надежных элементов рельсовой линии. Несмотря на цифровую трансформацию железнодорожного транспорта, одним из направлений которой является автоматизация контроля технического состояния систем и объектов инфраструктурного комплекса, техническое диагностирование СТРС проводится эксплуатационным персоналом дистанций инфраструктуры с использованием переносных измерительных приборов. В статье предложен алгоритм мониторинга переходного сопротивления СТРС, позволяющий автоматизировать этот процесс, проведено исследование алгоритма и определена его методическая погрешность.

Ключевые слова: сборный токопроводящий рельсовый стык, техническое диагностирование, мониторинг, тяговая рельсовая сеть, переходные сопротивления, измерение малых сопротивлений.

A prefabricated conductive rail joint (PCRJ) is one of the least reliable elements of a rail line. Despite the digital transformation of railway transport, one of the directions of which is automation of monitoring the technical condition of systems and infrastructure facilities, technical diagnostics of the PCRJ is carried out by the operational personnel of infrastructure distances using portable measuring instruments. The article proposes an algorithm for monitoring the transient resistance of the PCRJ, which allows automating this process, a study of the algorithm is carried out and its methodological error is determined.

Key words: prefabricated conductive rail joint, technical diagnostics, monitoring, traction rail network, transient resistances, measurement of small resistances.

Электротехника, 2023, №10, стр.50-54

Об эффективности корреляционного приема и нелинейной обработки в приемнике сигналов АЛСН

ХОХРИН А.С., ЮСУПОВ Р.Р, ПЛОХОВ Е.М.

Предложены варианты квадратурного приемника сигналов автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия (АЛСН) с нелинейным преобразованием, помехоустойчивость и безопасность которых оценены по сравнению с приемником сигналов АЛСН с амплитудным детектированием. Для подавления импульсных помех предложено использовать комбинированный подавитель помех, представляющий собой сочетание попеременно работающих схемы бланкирования и схемы ШОУ (Широкополосного фильтра, Ограничителя и Узкополосного фильтра). Выполнен анализ эффективности применения корреляционного приема и нелинейной обработки сигналов АЛСН. Результаты показывают, что наибольшую помехоустойчивость и безопасность обеспечивает квадратурный приемник сигналов АЛСН с комбинированным подавителем помех и блоком с зоной нечувствительности.

Ключевые слова: автоматическая локомотивная сигнализация, квадратурный приемник, нелинейное преобразование сигналов, комбинированный подавитель импульсных помех, помехоустойчивость, безопасность, зона нечувствительности.

Variants of a quadrature receiver of continuous-action automatic locomotive signaling (CAALS) signals with nonlinear transformation are proposed, the noise immunity and safety of which are evaluated in comparison with an CAALS signal receiver with amplitude detection. To suppress pulse interference, it is proposed to use a combined interference suppressor, which is a combination of alternately working blanking schemes and BLN schemes (Broadband filter, Limiter and Narrowband filter). The analysis of the effectiveness of the use of correlation reception and nonlinear processing of CAALS signals is carried out. The results show that the greatest noise immunity and safety is provided by a quadrature receiver of CAALS signals with a combined noise suppressor and a block with a dead zone.

Key words: automatic locomotive signaling, quadrature receiver, nonlinear signal conversion, combined pulse noise suppressor, noise immunity, safety, dead zone.

Электротехника, 2023, №10, стр.55-60

Определение безгистерезисной кривой намагничивания ферромагнитного материала по параметрам предельной петли его магнитного гистерезиса

САНДОМИРСКИЙ С.Г.

Безгистерезисное намагничивание материала заключается в том, что одновременно с постоянным намагничивающим полем напряженностью H на материал действуют переменным магнитным полем, доводящим материал до технического насыщения, после чего амплитуду напряженности переменного поля плавно уменьшают до нуля. При этом вместо кривой первоначального намагничивания получают кривую безгистерезисного намагничивания, которая имеет большую крутизну в слабых полях и не имеет точки перегиба. Использование безгистерезисного намагничивания важно для резкого повышения чувствительности разных магнитных элементов. В статье для упрощения определения безгистерезисной кривой намагничивания ферромагнитного материала разработана и обоснована формула, использующая результаты измерения его намагниченности технического насыщения, остаточной намагниченности и коэрцитивной силы. Повышение производительности и упрощение определения безгистерезисной кривой намагничивания материала достигнуто благодаря тому, что для ее определения необходимо всего один раз намагнитить материал до технического насыщения и измерить после этого всего три магнитных параметра предельной петли гистерезиса материала, которые могут быть измерены по стандартным методикам с минимальной по сравнению с другими магнитными параметрами материала относительной погрешностью.

Ключевые слова: ферромагнитные материалы, магнитные свойства, намагничивание, безгистерезисное намагничивание, коэрцитивная сила, намагниченность технического насыщения, остаточная намагниченность.

Anhysteretic magnetization of the material consists in the fact that simultaneously with a constant magnetizing field of intensity H , an alternating magnetic field is applied to the material, bringing the material to technical saturation, after which the amplitude of the alternating field intensity is smoothly reduced to zero. In this case, instead of the initial magnetization curve, an anhysteretic magnetization curve is obtained, which is steeper in weak fields and has no

inflection point. The use of anhysteretic magnetization is important to dramatically increase the sensitivity of different magnetic elements. To simplify the determination of the anhysteretic magnetization curve of a ferromagnetic material, a formula using the results of measurements of its magnetization at technical saturation, residual magnetization, and coercive force is developed and substantiated in this article. The increase in productivity and simplification of determining the hysteresis-free material magnetization curve is achieved due to the fact that in order to determine it, it is necessary to magnetize the material to technical saturation only once and then measure only three magnetic parameters of the saturation material hysteresis loop, which can be measured using standard methods with a minimal relative error compared to other magnetic parameters of the material.

Key words: ferromagnetic steels, magnetic, properties, magnetization, anhysteretic magnetization, coercive force, saturation magnetization, remanent magnetization.

Электротехника, 2023, №10, стр.60-64

Идентификация характеристики трения мехатронных систем в режиме колебаний МАЛАФЕЕВ С.И.

Рассмотрена методика определения характеристик пар трения мехатронных систем в режиме вынужденных установившихся колебаний. В мехатронной колебательной системе используются синхронная электрическая машина с постоянными магнитами на роторе и система управления режимом колебаний. Определение зависимости момента трения от угловой скорости по кривой Штрибека происходит в условиях, близких к эксплуатационным, то есть при непрерывном движении, переменной угловой скорости и изменении направления движения. Представлены результаты экспериментальных исследований и моделирования с помощью MATLAB Simulink.

Ключевые слова: мехатронная система, трение, моделирование, эксперимент.

The method of determining the characteristics of friction pairs of mechatronic systems in the mode of forced steady-state oscillations is considered. The mechatronic oscillatory system uses a synchronous electric machine with permanent magnets on the rotor and an oscillation mode control system. The determination of the dependence of the moment of friction on the angular velocity along the Shtribek curve occurs under conditions close to operational, that is, with continuous motion, variable angular velocity and a change in the direction of movement. The

results of experimental studies and modeling using MATLAB Simulink are presented.

Key words: mechatronic system, friction, simulation, experiment.

Электротехника, 2023, №10, стр.65-72

Оценка потерь тяговых асинхронных электродвигателей при работе от преобразователя частоты

ЖИЛИН О.А., ТОПОРКОВ Д.М.

Статья посвящена оценке дополнительных потерь, возникающих в асинхронном тяговом электродвигателе при его работе от преобразователя частоты. Предложен алгоритм расчета дополнительных потерь, возникающих в обмотках электрической машины. Исследовано влияние параметров широтно-импульсной модуляции на изменение дополнительных потерь. Рассмотрено влияние числа элементарных проводников по высоте паза на дополнительные потери. Показано несущественное влияние дополнительных потерь в стали на снижение коэффициента полезного действия асинхронного двигателя.

Ключевые слова: тяговый асинхронный двигатель, преобразователь частоты, дополнительные потери, высшие гармоники напряжения, снижение КПД, перегрев обмоток.

The article is devoted to the assessment of additional losses arising in an asynchronous traction motor when it is operated from a frequency converter. An algorithm for calculating additional losses arising in the windings of an electric machine is proposed. The influence of pulse width modulation parameters on the change of additional losses is investigated. The influence of the number of elementary conductors along the groove height on additional losses is considered. The insignificant effect of additional losses in steel on the reduction of the efficiency of the asynchronous motor is shown.

Keywords: traction asynchronous motor, frequency converter, additional losses, higher voltage harmonics, reduced efficiency, overheating of the winding.

Электротехника, 2023, №10, стр.72-79

К определению геометрических параметров электронных пучков технологических

установок

ГОНЧАРОВ А.Л., СЛИВА А.П., ДРАГУНОВ В.К., РЫЖКОВ С.В., ЧУЛКОВ И.С.,
ЩЕРБАКОВ А.В., ТЕРЕНТЬЕВ Е.В.

Рассмотрены способы определения диаметра, дистанции фокусировки и угла сходимости электронного пучка, применяемого для электронно-лучевой сварки в вакууме.

Предложена методика определения границ электронного потока с использованием непрерывного вейвлет-преобразования поперечного интегрального профиля пучка, получаемого по изображению его свечения на остаточных газах в вакуумной камере.

Проведена проверка методики на эталонном объекте и оценена погрешность определения линейных размеров пучка. Получены количественные зависимости минимального диаметра пучка и дистанции фокусировки от тока магнитной линзы для двух типов электронно-лучевых технологических установок. Установлены особенности распределения плотности энергии в области сходящегося и расходящегося пучков.

Полученные результаты позволяют оценить плотность мощности в пучке и могут быть использованы при исследованиях влияния параметров процесса на форму и размеры сварного шва при электронно-лучевой сварке.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, электронный пучок, диаметр пучка, фокусировка пучка, угол сходимости, вейвлет-преобразование.

Methods for determining the diameter, focusing distance and convergence angle of an electron beam used for electron beam welding in vacuum are considered. A technique for determining the boundaries of the electron flow using a continuous wavelet transform of the transverse integral beam profile obtained from the image of its glow on residual gases in a vacuum chamber is proposed. The methodology was tested on a reference object and the error in determining the linear dimensions of the beam was estimated. Quantitative dependences of the minimum beam diameter and focusing distance on the magnetic lens current for two types of electron beam technological installations are obtained. The features of the distribution of energy density in the region of converging and diverging beams are established. The results obtained allow us to estimate the power density in the beam and can be used in studies of the effect of process parameters on the shape and dimensions of the weld during electron beam welding.

Keywords: electron beam welding, electron beam, beam diameter, beam focusing, convergence angle, wavelet transform.

Электротехника, 2023, №10, стр.80-81

Авторы номера