

Содержание

Электротехника, 2022, №9, стр.2-7

Автоматизация монтажа проводов высоковольтной линии тягового электроснабжения на переменном токе

БАДЕР М.П., КУЛИКОВ А.А.

Приведена модель механизированного мобильного монтажного комплекса для монтажа проводов воздушной линии, состоящего из крана-манипулятора для подвеса проводов и крутильной машины для поворота воздушной линии на 60 градусов между опорами, который базируется на платформе, способной легко перемещаться вдоль строительной трассы. Монтажный комплекс создает возможность непрерывного, безразрывного и одновременного монтажа всех трех проводов шестишаговой транспозиции воздушной высоковольтной линии на каждой опоре по всей ее длине в автоматическом режиме. Такая технология монтажа позволяет значительно сократить время на производство строительных работ, уменьшить влияние человеческого фактора и повысить безопасность выполнения монтажа.

Ключевые слова: тяговая сеть железных дорог, монтаж проводов, мобильный монтажный комплекс, транспозиция воздушной высоковольтной линии.

A model of a mechanized mobile installation complex for the installation of overhead line wires is presented – a mechanized complex consisting of a manipulator crane for hanging wires and a torsion machine for turning the overhead line by 60 degrees between supports, which is based on a platform that can easily move along the construction route. The mechanized complex creates the possibility of continuous and simultaneous installation of all three wires of a six-step transposition of an overhead high-voltage line on each support along its entire length in automatic mode. This installation technology will significantly reduce the time for construction work, reduce the influence of the human factor and improve the safety of installation.

Key words: railway traction network, wire installation, mobile installation complex, transposition of an overhead high-voltage line.

Электротехника, 2022, №9, стр. 8-15

Влияние прогноза рассогласования на качество управления в замкнутых автоматических системах

БАРАНОВ Л.А., ПУДОВИКОВ О.Е., БАЛАКИНА Е.П.

Разработана методика определения эффективности использования прогноза рассогласования в законах цифровых автоматических систем управления. Прогноз рассогласования реализуется экстраполятором, работающим в реальном времени и использующем $(M + 1)$ предыдущих отсчетов рассогласования, аппроксимированных многочленами Чебышева, ортогональными на множестве равноотстоящих точек по методу наименьших квадратов. Выполнен анализ влияния на качество управления дополнения ПИД закона управления составляющей прогноза рассогласования.

Ключевые слова: цифровые автоматические системы управления, качество управления, прогноз рассогласования, ПИД-закон управления, многочлены Чебышева.

A technique has been developed for determining the effectiveness of using the mismatch forecast in the laws of digital automatic control systems. The mismatch is implemented by a real-time extrapolator using $(M+1)$ previous mismatch readings. Mismatch readings are approximated many Chebyshev roots orthogonal on a set of equidistant points using the least squares method. The analysis of the influence of the quality of the PID control with prediction carried out.

Key words: digital automatic control systems, control quality, mismatch prediction, PID control, many Chebyshev roots.

Электротехника, 2022, №9, стр. 15-19

Система автоматического управления силовым полупроводниковым преобразователем для тепловозов с коллекторными тяговыми двигателями

ЕВСЕЕВ В. Ю., САВОСЬКИН А.Н.

Рассмотрены структура, принцип работы и преимущества транзисторного преобразователя для тепловозов с коллекторными тяговыми двигателями. Приведена функциональная структура системы автоматического управления преобразователем для

режима тяги, а также математическая модель привода, использованная для расчетов. Приведены результаты математического моделирования работы тягового привода в стационарных и динамических режимах. Рассмотрены электромагнитные и электромеханические процессы, происходящие в тяговом приводе при полном возбуждении, а также при усилении и ослаблении возбуждения. Сделаны выводы о работоспособности предложенной системы автоматического управления тяговым полупроводниковым преобразователем.

Ключевые слова: тяговый привод, коллекторный тяговый двигатель, система автоматического управления, транзисторный преобразователь, моделирование, математическая модель.

The structure, operating principle and advantages of a transistor converter for diesel locomotives with collector traction motors are considered. The functional structure of the converter automatic control system for traction mode is given, as well as the mathematical model of the drive used for calculations. The results of mathematical modeling of traction drive operation in stationary and dynamic modes are presented. The electromagnetic and electromechanical processes occurring in the traction drive at full excitation, as well as with the amplification and attenuation of excitation, are considered. Conclusions are drawn about the operability of the proposed system of automatic control of a traction semiconductor converter.

Key words: traction drive, collector traction motor, automatic control system, transistor converter, modeling, mathematical model.

Электротехника, 2022, №9, стр. 20-26

Сравнительная характеристика электроприводов с системой векторного управления асинхронным двигателем

ИНЬКОВ Ю.М., КОСМОДАМИАНСКИЙ А.С., ПУГАЧЕВ А.А., ЧУПРИНА Н.В.,
ФАДЕЙКИН Т.Н.

Показана актуальность применения электроприводов с системами векторного управления асинхронными двигателями на тяговом подвижном составе. Дана сравнительная оценка электроприводов с алгоритмами широтно-импульсной и пространственно-векторной модуляции напряжения автономного инвертора в составе системы векторного управления

асинхронного двигателя. Синтезирована система векторного управления с ориентацией по потокоцеплению ротора, приведена ее функциональная схема. Разработана математическая модель и функциональная схема системы управления двухуровневого автономного инвертора напряжения, реализующая алгоритмы пространственно-векторной модуляции. Разработанные схемы собраны в программном комплексе MATLABSimulink; по известным и ранее апробированным математическим зависимостям также собрана система управления инвертором, реализующая широтно-импульсную модуляцию. Приведены результаты моделирования для электропривода с асинхронным двигателем мощностью 110 кВт, модель которого учитывает потери в обмотках статора и ротора и в магнитопроводе статора; выполнен анализ энергетической эффективности и влияния способа модуляции на показатели качества электроприводов.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, векторное управление, модуляция, потери мощности, коэффициент гармонических искажений, компьютерное моделирование.

The relevance of implementation of induction motor electric drives with vector control system in the traction rolling stock is shown. The aim of the investigation to be presented is to give a comparative assessment of voltage source inverter electric drives with algorithms of pulse width and space-vector modulations integrated in the vector control system of induction motor. Vector control system with orientation to rotor flux linkage is developed, its functional diagram is given. A mathematical model and functional diagram of the control system of a two-level voltage source inverter which implements space-vector modulation algorithms has been developed. The developed schemes and topologies are assembled in the MATLAB Simulink software package; according to known mathematical dependencies, the control system of a two-level voltage source inverter which implements pulse width modulation is also assembled. The results of simulation are presented for the 110 kW induction motor electric drive; the mathematical model of the induction motor takes into account power losses in stator and rotor windings and in stator iron and typical nonlinearities of saturation and resistances. Analysis of energy efficiency and influence of modulation technique on electric drive quality indicators depending on induction motor control system and rated power of induction motor is highlighted.

Key words: induction motor, vector control system, modulation, power losses, total harmonics distortion, computer simulation.

Диагностика тяговых электродвигателей электроподвижного состава с использованием искусственных нейронных сетей

КОСМОДАМИАНСКИЙ А.С., ИНЬКОВ Ю.М., МЕНЩИКОВ И.А., БАТАШОВ С.И.

Представлены результаты исследований в области диагностирования тягового электродвигателя 1ДТ.003.11 электропоезда переменного тока серии ЭПЗД с помощью моделирования аварийных режимов функционирования ядерной нейронной сети. На основании анализа графика псевдоспектра мощности, выполненного с помощью цифровой обработки осциллограммы кривой тока в пакете программы MATLAB, получены в виде таблицы дискретные значения частотных составляющих логарифмического спектра тока в обмотке якоря и соответствующие им значения мощности сигнала, служащие для кластеризации отказов тягового электродвигателя электропоезда. Надежность тяговых электродвигателей с повышенным отработанным ресурсом предлагается оценивать с помощью ядерной нейронной сети в пакете MATLAB. Результатом исследования диагностического процесса с использованием кластеризации отказов тягового электродвигателя является оценка эффективности практического использования искусственной нейронной сети с ядерной структурой в задачах диагностирования в зависимости от технического состояния тягового электродвигателя на текущий момент эксплуатации.

Ключевые слова: тяговый электродвигатель, техническая диагностика, ядерная нейронная сеть.

The results of research in the field of diagnostics of the traction electric motor 1DT.003.11 of the electric train of alternating current of the EP3D series by means of modeling of emergency modes of functioning of the nuclear neural network are presented. Based on the analysis of the power pseudospectrum graph performed using digital processing of the current curve waveform in the MATLAB program package, discrete values of the frequency components of the logarithmic current spectrum in the armature winding and their corresponding signal power values are obtained in the form of a table, serving for clustering failures of the traction electric motor of an electric train. The reliability of traction motors with an increased spent resource is proposed to be evaluated using a nuclear neural network in the MATLAB package. The result of the study of the diagnostic process using clustering of traction motor failures is an assessment of the effectiveness of the practical use of an artificial neural network with a nuclear structure in diagnostic tasks, depending on the technical condition of the traction motor at the current

moment of operation.

Key words: traction electric motor, technical diagnostics, nuclear neural network.

Электротехника, 2022, №9, стр. 34-42

Электромагнитные процессы в силовой схеме электровоза с управляемым преобразователем возбуждения

МИХАЛЬЧУК Н.Л., САВОСЬКИН А.Н., ЧУЧИН А.А.

Для улучшения условий сцепления колес электровозов с рельсами предлагается использовать тяговые двигатели с независимым возбуждением. С этой целью в силовой схеме электровоза однофазно-постоянного тока предлагается использовать управляемые преобразователи возбуждения, шунтирующие каждую обмотку возбуждения. Приведена силовая схема электровоза, математическая модель силовой цепи электровоза, позволяющая выполнить исследования работы управляемого преобразователя возбуждения. Представлены результаты математического моделирования электромагнитных процессов при работе управляемого преобразователя возбуждения в нормальном режиме возбуждения, режимах подпитки и отпитки. Предложенное решение позволяет обеспечить плавное непрерывное управление токами возбуждения тяговых двигателей в режимах независимого и последовательного возбуждения без разрыва силовой цепи и потери силы тяги.

Ключевые слова: электровоз, тяговый двигатель, транзисторный преобразователь, управляемый преобразователь возбуждения, электромагнитные процессы, математическая модель.

To improve the conditions of coupling of the wheels of electric locomotives with rails, it is proposed to use traction motors with independent excitation. For this purpose, it is proposed to use controlled excitation converters shunting each excitation winding in the power circuit of a single-phase-DC electric locomotive. The power scheme of an electric locomotive, a mathematical model of the electric locomotive power circuit, which allows performing research on the operation of a controlled excitation converter, is given. The results of mathematical modeling of electromagnetic processes during operation of a controlled excitation converter in the normal excitation mode, recharge and discharge modes are presented. The proposed solution

allows for smooth continuous control of the excitation currents of traction motors in independent and sequential excitation modes without breaking the power circuit and loss of traction force.

Key words: electric locomotive, traction motor, transistor converter, controlled excitation converter, electromagnetic processes, mathematical model.

Электротехника, 2022, №9, стр. 43-46

Подход к прогнозированию выхода тяговых электродвигателей из строя

СИДОРЕНКО В.Г., КУЛАГИН М.А., МИХАЙЛОВ С.В.

Рассмотрены показатели, влияющие на состояние тягового электродвигателя электроподвижного состава и используемые для предиктивной диагностики в рамках интеллектуальной системы управления производственными ресурсами городских рельсовых транспортных систем при решении следующих задач: оценки состояния оборудования транспортного средства, прогнозирования его работоспособности и принятия решения о необходимости unplanned осмотра и ремонта; совершенствования процесса составления графика оборота подвижного состава и его адаптации под динамически изменяющиеся условия; повышения эффективности управления электроподвижным составом, а именно, повышения уровня работоспособности и снижения вероятности unplanned ремонта и размера издержек на ремонт. Предложен вариант использования параметров тока якоря в качестве показателя, влияющего на состояние тягового электродвигателя электроподвижного состава. Состояние тягового электродвигателя оценивается на основе сравнения секций, на которых выполнялся unplanned ремонт и тех, на которых такого ремонта не было. Проведен обзор используемых на железнодорожном транспорте систем предиктивной диагностики для локомотивов.

Ключевые слова: городской рельсовый транспорт, интеллектуальное управление, тяговый электродвигатель, ток якоря.

The indicators affecting the state of the traction electric motor of an electric rolling stock and used for predictive diagnostics within the framework of an intelligent system for managing the production resources of urban rail transport systems in solving the following tasks are considered: assessing the condition of the vehicle equipment, predicting its operability and deciding on the need for unplanned inspection and repair; improving the process of scheduling

the turnover of rolling stock and its adaptation under dynamically changing conditions; improving the efficiency of electric rolling stock management, namely, increasing the level of efficiency and reducing the likelihood of unplanned repairs and the amount of repair costs. A variant of using the parameters of the armature current as an indicator affecting the state of the traction motor of an electric rolling stock is proposed. The condition of the traction motor is estimated based on a comparison of sections on which unplanned repairs were performed and those on which there was no such repair. The review of predictive diagnostics systems used in railway transport for locomotives is carried out.

Key words: urban rail transport, intelligent control, traction electric motor, anchor current.

Электротехника, 2022, №9, стр. 47-50

Автоматический контроль излома рельсов на участках с электротягой переменного тока

ШАМАНОВ В.И., ДЕНЕЖКИН Д.В.

Увеличение скорости и интенсивности движения тяжеловесных поездов на наиболее загруженных электрифицированных участках железных дорог приводит к росту вероятности излома рельсов и повышает тяжесть последствий при таких изломах. Разработан способ контроля излома рельсов на таких участках и один из вариантов технической реализации этого способа, которые обеспечивают контроль излома рельсов не только для случаев полного разрыва рельсов. Определены особенности изменения асимметрии тягового тока в рельсовой линии при изломе рельса в одной из рельсовых нитей. Если излом рельса происходит под подвижным составом, то возникает скачок асимметрии тягового тока в освобождающейся от подвижного состава части рельсовой линии при уходе последней колесной пары поезда за точку излома рельса. На выходном для поезда конце рельсовой цепи или участка рельсовой линии асимметрия тягового тока изменяется скачком, когда последняя колесная пара поезда освобождает их. Эти скачки асимметрии тягового тока и обеспечивают возможность фиксировать излом рельса. Предусмотрены меры по исключению ложного контроля излома рельсов при коротких замыканиях в контактной сети и при грозовых разрядах.

Ключевые слова: изломы рельсов, контроль, постоянный и переменный тяговые токи в рельсах, асимметрия тягового тока, автоматический контроль.

An increase in the speed and intensity of heavy trains on the busiest electrified sections of railways leads to an increase in the probability of breaking rails and increases the severity of the consequences of such fractures. A method has been developed for monitoring the fracture of rails in such sections and one of the options for the technical implementation of this method, which provide control of the fracture of rails not only for cases of complete rupture of rails. The features of the change in the asymmetry of the traction current in the rail line during the break of the rail in one of the rail threads are determined. If the break of the rail occurs under the rolling stock, then there is a jump in the asymmetry of the traction current in the part of the rail line that is being released from the rolling stock when the last wheelset of the train goes beyond the point of the rail break. At the train's exit end of a rail chain or section of a rail line, the asymmetry of the traction current changes abruptly when the last wheelset of the train releases them. These jumps in the asymmetry of the traction current and provide the opportunity to fix the break of the rail. Measures are provided to exclude false control of rail breakage in case of short circuits in the contact network and in case of lightning discharges.

Key words: rail breaks, control, direct and alternating traction currents in rails, asymmetry of traction current, automatic control.

Электротехника, 2022, №9, стр. 51-54

Выбор этапов модернизации тяговых подстанций линий метрополитенов

ГРЕЧИШНИКОВ В.А.

Основные требования, которые предъявляются к системе тягового электроснабжения метрополитена – это надёжность, бесперебойность и экономическая целесообразность. По мере развития, роста протяженности, ввода в работу новых станций, тяговых подстанций, участки и объекты, введённые в работу значительное время назад, требуют модернизации. Для этого нужно рассчитать в современных условиях параметры работы системы тягового электроснабжения и корректно выбрать все силовые элементы и оборудование. Однако более важным вопросом является выбор этапности модернизации. Важно сохранить все участки метрополитена в работе, чтобы модернизация не затронула социальные и экономические аспекты жизни города. В статье этапность модернизации метрополитена детально изучен с практической стороны с привлечением реальных параметров функционирования тяговых подстанций метрополитена и даны конкретные рекомендации.

Ключевые слова: метрополитен, система тягового электроснабжения, тяговая подстанция, модернизация электроснабжения, матричный метод расчёта.

The main requirements that apply to the traction power supply system of the metro are reliability, continuity and economic feasibility. With the development, the growth of the length, the commissioning of new stations, traction substations, sites and facilities put into operation a considerable time ago, require modernization. To do this, it is necessary to calculate the parameters of the traction power supply system in modern conditions and correctly select all power elements and equipment. However, the more important issue is the choice of the stages of modernization. It is important to keep all sections of the metro in operation so that modernization does not affect the social and economic aspects of city life. In the article, the stages of modernization of the metro are studied in detail from the practical side with the involvement of real parameters of the functioning of traction substations of the metro and specific recommendations are given.

Key words: metro, traction power supply system, traction substation, modernization of power supply, matrix calculation method.

Электротехника, 2022, №9, стр. 55-60

Обнаружение неисправностей в измерительных цепях систем железнодорожной автоматики и телемеханики для обеспечения безопасности движения поездов
БЕСТЕМЬЯНОВ П.Ф.

Современные системы железнодорожной автоматики и телемеханики обеспечивают движение поездов с минимальным интервалом времени. Решение о безопасной дистанции между поездами принимается после измерения параметров движения (скорости и текущей координаты) и формирования на их основе управляющих сигналов. Ошибки и неисправности датчиков и соответствующих соединительных кабелей (измерительных цепей) могут привести к опасным ситуациям и влияют в целом на безопасность движения поездов. Рассмотрены основные алгоритмы, позволяющие автоматически выявлять неисправности и вовремя перевести систему в защитное состояние. Количественная оценка базируется на определении вероятности ложного отказа и вероятности не обнаруживаемого отказа. Для определения границ возможного изменения текущего значения измеряемой величины предлагается решать неявную задачу нахождения соответствующего параметра в допустимых пределах при заданных вероятности не обнаруживаемого отказа и вероятности ложного отказа. Получены решения для

нескольких законов распределения измеряемого сигнала при известной плотности распределения вероятности погрешности преобразования аналоговой величины в цифровую форму; считается, что погрешность преобразования и измеряемый сигнал не зависят друг от друга.

Ключевые слова: систем железнодорожной автоматики и телемеханики, безопасность движения поездов, интервальное регулирование движения поездов, вероятность ложного отказа, вероятность не обнаруживаемого отказа, плотность распределения погрешности преобразования, плотность распределения контролируемого сигнала.

Modern systems of railway automation and telemechanics ensure the movement of trains with a minimum time interval. The decision on the safe distance between trains is made after measuring the movement parameters (speed and current coordinates) and forming control signals based on them. Errors and malfunctions of sensors and corresponding connecting cables (measuring circuits) can lead to dangerous situations and affect the overall safety of train traffic. The basic algorithms allowing to detect malfunctions automatically and to put the system into a protective state in time are considered. The quantitative assessment is based on determining the probability of a false failure and the probability of an undetectable failure. To determine the boundaries of a possible change in the current value of the measured value, it is proposed to solve the implicit problem of finding the corresponding parameter within acceptable limits for given probabilities of undetectable failure and probability of false failure. Solutions have been obtained for several distribution laws of the measured signal at a known probability distribution density of the error of converting an analog quantity into a digital form; it is assumed that the conversion error and the measured signal do not depend on each other.

Keywords: railway automation and telemechanics systems, train traffic safety, interval control of train traffic, probability of false failure, probability of undetectable failure, density of the conversion error distribution, density of the controlled signal distribution.

Электротехника, 2022, №9, стр. 61-66

Повышение энергоэффективности асинхронного тягового электропривода локомотивов

ФЕДЯЕВА Г.А., ИНЬКОВ Ю.М., НАДТОЧЕЙ А.Г., КОНОХОВ Д.В.

Проанализирована проблема снижения активной составляющей тока статора и энергоэффективности асинхронного электропривода при уменьшении нагрузки, определён предпочтительный критерий оптимизации системы управления тяговым

электроприводом локомотива, представлена методика расчёта зависимости потокосцепления статора от тока статора, оптимизированной по критерию минимума тока статора асинхронного двигателя. По приведенной методике рассчитана оптимальная зависимость потокосцепления от тока для тягового двигателя АД917УХЛ1, применяемого на российских тепловозах, выполнена аппроксимация рассчитанной зависимости, приведены графики КПД при обычном и энергоэффективном управлении электроприводом; при малых нагрузках и энергоэффективном управлении КПД двигателя увеличивается на 12 %.

Ключевые слова: локомотивы, асинхронный двигатель, регулирование потокосцепления статора, минимум тока, энергоэффективность.

The problem of reducing the active component of the stator current and the energy efficiency of an asynchronous electric drive while reducing the load is analyzed, the preferred criterion for optimizing the control system of a locomotive traction electric drive is determined, a method for calculating the dependence of the stator flow coupling on the stator current optimized by the criterion of the minimum stator current of an asynchronous motor is presented. According to the above methodology, the optimal dependence of the flow coupling on the current for the traction engine AD917UHL1 used on Russian locomotives is calculated, an approximation of the calculated dependence is performed, efficiency graphs are given for conventional and energy-efficient electric drive control; with low loads and energy-efficient control, the efficiency of the engine increases by 12%.

Keywords: locomotives, asynchronous motor, regulation of stator flow coupling, minimum current, energy efficiency.

Электротехника, 2022, №9, стр. 67-71

Экспериментальная оценка качества электрической энергии в сетях собственных нужд совмещенной тяговой подстанции метрополитена

ШЕВЛЮГИН М.В., ГОЛИЦЫНА А.Е., БЕЛОВ М.Н., ПЛЕТНЕВ Д.С.

Рассмотрены ответственные потребители собственных нужд совмещенной тяговой подстанции (СТП) метрополитена и особенности их работы с учетом влияния тяговой нагрузки и внешних возмущений. Описаны критерии оценки качества электрической энергии при питании потребителей собственных нужд СТП. Для оценки качества электрической энергии представлены экспериментальные замеры в цепях

электроснабжения собственных нужд на двух действующих СТП различной мощности. Приведены осциллограммы токов и напряжений в режиме реального времени в течение 24 часов. Качественно и количественно показана крайне неравномерная загрузка трехфазной системы собственных нужд, нестабильность уровней напряжения по фазам на шинах 0,4 кВ СТП, рассчитаны показатели несимметрии по прямой и обратной последовательностям. Статистический анализ результатов экспериментальных замеров показал несоответствие качества электрической энергии электроснабжения собственных нужд СТП. Предложены средства повышения надежности и качества электроэнергии с помощью звена постоянного тока и использованием накопителя энергии в виде собственной аккумуляторной батареи СТП.

Ключевые слова: метрополитен, качество электрической энергии, тяговая подстанция, собственные нужды, экспериментальные замеры.

The responsible consumers of their own needs of the combined traction substation (CTS) of the metro and the features of their work, taking into account the influence of traction load and external disturbances, are considered. The criteria for assessing the quality of electrical energy in the power supply of consumers for their own needs of the CTS are described. To assess the quality of electrical energy, experimental measurements are presented in the power supply circuits of own needs on two operating CTS of different capacities. Waveforms of currents and voltages are shown in real time for 24 hours. Qualitatively and quantitatively, the extremely uneven loading of the three-phase system of its own needs, the instability of voltage levels in phases on 0.4 kV CTS tires, the asymmetry indicators for the forward and reverse sequences are calculated. The conducted statistical analysis of the results of experimental measurements showed a discrepancy in the quality of electrical energy for the CTS's own needs. The means of improving the reliability and quality of power supply with the help of a direct current link and the use of an energy storage device in the form of its own CTS battery are proposed.

Key words: metro, electric energy quality, traction substation, own needs, experimental measurements.

Электротехника, 2022, №9, стр. 72-73

Авторы номера