

Стабилизированный источник питания устройств железнодорожной автоматики

БЕСТЕМЬЯНОВ П.Ф., ВАНЬШИН А.Е.

Влияние электромагнитных помех на работу аппаратных средств микропроцессорных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, в том числе на микропроцессорные системы управления, привело к необходимости найти новые технические решения по обеспечению бесперебойного и надежного вторичного питания устройств. На основе универсальных методов описания различных физических процессов получено дифференциальное уравнение, которое описывает стабилизацию напряжения питания на основе двухконтурной системы автоматического регулирования. В первом контуре решение принимается на основе сравнения заданного напряжения питания с текущим его значением, во втором контуре сравнивается заданное значение скорости изменения напряжения (первой производной) с ее оценкой. Приводится принципиальная схема синтезированного стабилизатора напряжения питания и результаты его моделирования в среде Multisim Education Edition, National Instruments Corporation Electronics Workbench Group. Показаны явные преимущества предложенного решения по сравнению с известным стабилизатором компенсационного типа. Выбор параметров предложенного устройства позволяет обеспечить инвариантность к известным видам внешних возмущающих воздействий по цепям питания аппаратных средств микропроцессорных систем управления движением поездов. Ключевые слова: устройства железнодорожной автоматики, микропроцессорные системы управления, двухконтурное автоматическое регулирование, стабилизация напряжения питания, инвариантность к внешним возмущениям.

Ключевые слова: устройства железнодорожной автоматики, микропроцессорные системы управления, двухконтурное автоматическое регулирование, стабилизация напряжения питания, инвариантность к внешним возмущениям.

The influence of electromagnetic interference on the operation of the hardware of microprocessor devices of railway automation and telemechanics, including microprocessor control systems, has led to the need to find new technical solutions to ensure uninterrupted and reliable secondary power supply of devices. Using the principle of analogy on the basis of universal methods for describing various physical processes using a mathematical apparatus, a differential equation is obtained that describes the stabilization of the supply voltage based on a two-circuit automatic control system. In the first circuit, the decision is made based on

comparing the set supply voltage with its current value, and in the second circuit, the set value of the voltage change rate (the first derivative) is compared with its estimate. A schematic diagram of a synthesized power supply voltage stabilizer and the results of its modeling in the Multisim Education Edition, National Instruments Corporation Electronics Workbench Group environment are presented. The obtained results showed clear advantages of the proposed solution in comparison with the known stabilizer of the compensation type. The choice of parameters of the proposed device makes it possible to ensure invariance to known types of external disturbing influences along the power supply circuits of the hardware of microprocessor-based train control systems.

Key words: railway automation devices, microprocessor control systems, dual-circuit automatic regulation, power supply voltage stabilization, invariance to external disturbances.

Электротехника, 2021, №9, стр. 6-9

Параметрический анализ изменений токов питающей линии тяговой сети постоянного тока с использованием нейронных сетей

ГРЕЧИШНИКОВ В.А., КУРОВ Н.Д., КУРОВ Д.А.

Современные микропроцессорные терминалы, контролирующие состояние оборудования питающих линий тяговой сети постоянного тока, обеспечивают высокий уровень защиты от коротких замыканий и недопустимых перегрузок. Внедрение этих устройств позволило не только сократить количество ложных срабатываний, но и увеличить чувствительность и быстродействие защиты, а также ввести ряд дополнительных функций. Повышение качества работы микропроцессорных релейных защит стало возможным благодаря построению алгоритмов, которые в самом простом виде учитывают характер изменения тока в защищаемой цепи, а не только его величину, как это сделано в максимальной токовой защите. Развитием подхода, связанного с учётом характера изменения токов, является поиск новых параметров этого изменения, позволяющих с учётом ограниченности быстродействия микроконтроллеров терминалов не только качественно определять аварийные процессы, но и детально классифицировать процессы, происходящие в тяговой сети. Для поиска взаимосвязей, параметрического анализа, выявления ранее неизвестных зависимостей в больших объёмах данных широко используются нейронные сети. Благодаря способности обобщения метод на основе машинного обучения способен выполнить кластеризацию любых типов данных. В статье описаны исследования длительных замеров токов питающих линий тяговой сети

постоянного тока с помощью нейронных сетей и определены новые параметры, качественно характеризующие изменения токов для улучшения распознавания аварийных режимов терминалами микропроцессорных защит питающей линии тяговой сети.

Ключевые слова: метрополитены, система тягового электроснабжения постоянного тока, релейная защита, нейронные сети.

Modern microprocessor terminals that monitor the condition of the equipment of the supply lines of the DC traction network provide a high level of protection against short circuits and inadmissible overloads. The introduction of these devices allowed not only to reduce the number of false alarms, but also to increase the sensitivity and speed of protection, as well as introduce a number of additional functions. Improving the quality of operation of microprocessor relay protection has become possible due to the construction of algorithms that, in their simplest form, take into account the nature of the current change in the protected circuit, and not only its value, as is done in overcurrent protection. The development of the approach associated with taking into account the nature of the change in currents is the search for new parameters of this change, which, taking into account the limited speed of the terminal microcontrollers, not only qualitatively determine emergency processes, but also classify in detail the processes occurring in the traction network. Neural networks are widely used to search for relationships, parametric analysis, and identify previously unknown dependencies in large amounts of data. Due to its generalizability, the ML-based method is capable of clustering any type of data. The article describes the study of long-term measurements of the currents of the supply lines of the DC traction network using neural networks and defines new parameters that qualitatively characterize the changes in currents to improve the recognition of emergency modes by terminals of microprocessor-based protection of the supply line of the traction network.

Keywords: subways, DC traction power supply system, relay protection, neural networks

Электротехника, 2021, №9, стр. 10-15

Повышение энергоэффективности тяговых электроприводов с асинхронными двигателями и системой векторного управления

ИНЬКОВ Ю.М., КОСМОДАМИАНСКИЙ А.С., ПУГАЧЕВ А.А., МОРОЗОВ С.В.

Приведена функциональная схема и кратко описан принцип работы системы управления тяговым электроприводом с асинхронными двигателями, обеспечивающей формирование

задания на момент двигателя, исходя из действующих ограничений энергетической установки локомотива. Синтезированы формулы задания на ток статора и потокосцепление ротора, обеспечивающие уменьшение потерь мощности в асинхронном двигателе, в зависимости от режимов его работы. Для проверки адекватности полученных формул применена система векторного управления асинхронным двигателем с ориентацией координатных осей по потокосцеплению ротора; в силовом канале электропривода использован двухуровневый автономный инвертор напряжения с пространственно-векторной модуляцией. Приведены результаты моделирования электропривода с двигателем мощностью 637 кВт. Показано, что наибольшее уменьшение потерь мощности происходит при частотах вращения, близких к своему номинальному значению, не зависимо от значения момента сопротивления.

Ключевые слова: тяговый электропривод, асинхронный двигатель, векторное управление, потокосцепление ротора, потери мощности, моделирование.

A functional diagram is given and the principle of operation of the traction electric drive control system with asynchronous motors is briefly described, which ensures the formation of a task at the time of the engine, based on the current limitations of the locomotive's energy setting. The formulas for setting the stator current and rotor flow coupling are synthesized, which ensure a reduction in power losses in an asynchronous motor, depending on its operating modes. To check the adequacy of the obtained formulas, a vector control system for an asynchronous motor with the orientation of the coordinate axes along the flow coupling of the rotor was used; a two-level autonomous voltage inverter with space-vector modulation was used in the power channel of the electric drive. The results of modeling an electric drive with a 637 kW motor are presented. It is shown that the greatest reduction in power losses occurs at rotation frequencies close to their nominal value, regardless of the value of the resistance moment.

Key words: traction electric drive, asynchronous motor, vector control, rotor flow coupling, power loss, modeling.

Электротехника, 2021, №9, стр. 15-19

Совместная работа шести- и двенадцатипульсовых выпрямительных агрегатов при модернизации тяговых подстанций

ВЛАСОВ С.П., ГОЛИЦЫНА А.Е., ГРЕЧИШНИКОВ В. А, КУРОВ Н.Д.

При одновременной работе разнопульсовых схем выпрямления на тяговых подстанциях метрополитенов поэтапная замена выпрямительных агрегатов приводит к перегрузкам и даже к отключению и выходу оборудования из строя. Решением проблемы может стать изменение вторичного напряжения преобразовательных трансформаторов. Как правило, для самого тяжелого случая, когда один из выпрямителей – двенадцатипульсовый, а остальные – шестипульсовые, гарантированное решение проблемы дает понижение вторичного напряжения на преобразовательном трансформаторе, питающим двенадцатипульсовый выпрямитель, на 2,5–5 %. При таком подходе напряжение на шинах тяговой подстанции остается номинальным. Изменение вторичного напряжения требуется только на период одновременной работы разнопульсовых схем выпрямления при модернизации тяговых подстанций. По окончании модернизации, когда все выпрямители будут однотипными, вторичное напряжение на трансформаторах необходимо вернуть к номинальному. В статье этот вопрос рассмотрен с практической стороны на основе реальных параметров функционирования тяговых подстанций метрополитена и даны конкретные рекомендации.

Ключевые слова: метрополитен, система тягового электроснабжения, тяговая подстанция, выпрямительный агрегат, совместная работа, схемы выпрямления.

With simultaneous operation of multi-pulse rectification schemes at traction substations of subways, step-by-step replacement of rectifier units leads to overloads and even to disconnection and failure of equipment. The solution to the problem may be a change in the secondary voltage of the converter transformers. As a rule, for the most severe case, when one of the rectifiers is a twelve – pulse, and the rest are six – pulse, a guaranteed solution to the problem gives a decrease in the secondary voltage on the converter transformer feeding the twelve-pulse rectifier by 2.5-5 %. With this approach, the voltage on the tines of the traction substation remains nominal. A change in the secondary voltage is required only for the period of simultaneous operation of multi-pulse rectification circuits during the modernization of traction substations. At the end of the modernization, when all the rectifiers are of the same type, the secondary voltage on the transformers must be returned to the nominal one. In the article, this issue is considered from the practical side on the basis of the 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, rectifier unit, joint work, rectification schemes.

Электротехника, 2021, №9, стр. 19-21

Экспериментальное исследование автономного хода электроподвижного состава метрополитена

ШЕВЛЮГИН М.В., ЖЕЛТОВ К.С., ПЛЕТНЕВ Д.С.

Проведен и описан масштабный эксперимент по аварийному (автономному) ходу электроподвижного состава (ЭПС), приводимого в движение при помощи энергии, запасенной в бортовом накопителе на базе суперконденсаторов. Обозначены проблемы, негативный эффект которых можно свести к минимуму путем применения накопителей энергии в системах электроснабжения метрополитенов и всех железных дорог в целом. С помощью натурального эксперимента в реальных условиях эксплуатации метрополитена, выполнена оценка необходимой энергии, требуемой для аварийного (автономного) хода новейшего ЭПС метрополитена – восьмивагонного состава 81-775/776/777 «Москва-2020».

Ключевые слова: метрополитен, электроподвижной состав, бортовой накопитель энергии, суперконденсатор, аварийный (автономный) ход, эксперимент.

A large-scale experiment on the emergency (autonomous) running of an electric rolling stock, which was driven by energy stored on an onboard storage device based on supercapacitors, was conducted and described. The problems are identified, the negative effect of which can be minimized by using energy storage devices in the power supply systems of subways and all railways in general. With the help of a full-scale experiment in real operating conditions of the metro, an assessment of the required amount of energy required for the emergency (autonomous) running of the latest electric rolling stock of the metro eight-car train was made 81-775/776/777 «Moscow-2020».

Key words: metro, electric rolling stock, on-board energy storage, supercapacitor, emergency (autonomous) running, experiment.

Электротехника, 2021, №9, стр. 22-25

Модель совмещенной тяговой подстанции метрополитена с учетом тяговой нагрузки и потребителей собственных нужд

КЛЯЧКО Л.М., ШЕВЛЮГИН М.В., БЕЛОВ М.Н., ГОЛИЦЫНА А.Е.

Рассмотрены особенности работы потребителей собственных нужд совмещенной тяговой подстанции (СТП) с учетом влияния тяговой нагрузки. Представлена мнемосхема имитационной модели реальной СТП Московского метрополитена. Описаны основные объекты исследования – потребители трансформаторов моторных приводов, освещения, службы централизации и блокировки при моделировании работы СТП в комплексе с участком тяговой сети с поездами и системой внешнего электроснабжения. Качественно и количественно показаны нестабильность уровня напряжения на шинах 10 (20) кВ СТП, а также уровень несимметрии. Подобные осциллограммы приведены для конечного потребителя – моторного привода с аналогичными отклонениями по качеству электрической энергии. Выполнена статистическая обработка результатов моделирования. Предложено техническое решение – использование звена постоянного тока с накопителями энергии для повышения показателей электроснабжения ответственных потребителей собственных нужд СТП.

Ключевые слова: метрополитен, система тягового электроснабжения, тяговая подстанция, собственные нужды, имитационное моделирование, накопитель энергии.

The features of the work of consumers of their own needs of a combined traction substation (STP), taking into account the influence of the traction load, are considered. The mnemonic diagram of the simulation model of the real STP of the Moscow metro is presented. The main objects of research are described – consumers of motor drive transformers, lighting, centralization and blocking services when modeling the operation of STP in combination with a section of the traction network with trains and an external power supply system. The instability of the voltage level on the 10 (20) kV STP buses, as well as the level of asymmetry, are qualitatively and quantitatively shown. Similar waveforms are given for the final consumer-a motor drive with similar deviations in the quality of electrical energy. Statistical processing of the simulation results was performed. A technical solution is proposed – the use of a direct current link with energy storage devices to increase the power supply indicators of responsible consumers of their own needs of the STP.

Key words: metro, traction power supply system, traction substation, own needs, simulation modeling, energy storage.

Минимизация расхода энергии на тягу поездов внеуличного городского транспорта

БАРАНОВ Л.А., СИДОРЕНКО В.Г., БАЛАКИНА Е.П., САФРОНОВ А.И.

Рассматриваются методы энергоэффективности планирования и управления движением поездов внеуличного городского транспорта. Приведены результаты решения задач выбора энергооптимальной последовательности режимов управления поездом при движении по перегону при заданных времени хода, скоростных ограничениях для поездов с рекуперативным тормозом, энергооптимального распределения времени хода по линии на времена хода по перегонам. Выполнен анализ энергоэффективности внедрения поездов нового поколения с рекуперативным торможением. Приведены результаты внедрения энергооптимальных способов управления и поездов с рекуперативным торможением и без него по данным эксплуатации в 2007–2019 гг. на примере Московского метрополитена. Предложены и описаны энергоэффективные алгоритмы управления движением поездов для централизованных интеллектуальных систем управления при компенсируемых возмущениях, алгоритмы управления для периода после ликвидации причин больших сбоев движения. Показана перспективность и энергоэффективность плановых графиков движения без сверхрежимных выдержек при внедрении централизованных интеллектуальных систем управления движением поездов.

Ключевые слова: внеуличный городской транспорт, минимизация расхода энергии на тягу поездов, оптимальное управление, рекуперативное торможение.

Methods of energy efficiency of planning and control of train traffic of off-street urban transport are considered. The formulations and results of solving the problems of choosing an energy-optimal sequence of train control modes when moving along a track at a given running time, speed limits for trains with a recuperative brake, energy-optimal distribution of running time along the line for running times along the tracks are presented. An analysis of the numerical values of the results of solving problems is presented. An analysis of the energy efficiency of introducing a new generation of trains with regenerative braking has been carried out. The results of the introduction of energy-optimal control methods and trains with and without a recuperative brake according to operation data in 2007-2019 are presented. on the example of the Moscow metro. Energy-efficient algorithms for controlling the movement of trains for centralized intelligent control systems with compensated disturbances, control algorithms for the period after the elimination of the causes of large traffic failures are proposed and described. The perspective and energy efficiency of the planned traffic schedules without over-mode exposures is shown when introducing centralized intelligent train traffic control systems.

Key words: off-street urban transport, minimization of energy consumption for train traction, optimal control, regenerative braking.

Электротехника, 2021, №9, стр. 34-40

Концепция и перспективы технического развития электроэнергетики железнодорожного транспорта

БАДЁР М.П.

Обоснована концепция и перспективы технического развития электроэнергетики железнодорожного транспорта. Показано, что применение системы электрической тяги на однофазном переменном токе сопровождается значительными затруднениями, связанными с обеспечением качественного отбора электроэнергии от питающих энергосистем (несимметрией, несинусоидальностью и большим потреблением реактивной энергии), сильными электромагнитными влияниями на смежные устройства и низким качеством выпрямления однофазного переменного тока на электроподвижном составе. Этих недостатков лишена система тягового электроснабжения постоянного тока и при одинаковых или соизмеримых напряжениях в тяговой сети в этих системах, система тягового электроснабжения постоянного тока имеет значительные преимущества. При повышении скорости движения поездов до 400 км в час и максимальном увеличении грузопотока наиболее оптимальным уровнем напряжения в тяговой сети постоянного тока является напряжение 24 кВ. Повышение номинального напряжения в тяговой сети выше 24 кВ, например до 30 кВ, ограничено критериями экономической целесообразности. Для этой системы наиболее эффективными являются 24-пульсовые схемы выпрямления; создание выпрямительно-инверторных агрегатов с числом пульсаций больше 24-х представляет сложную технологическую задачу и нецелесообразно по технико-экономическим расчетам. Приведена методика определения гармонического состава выпрямленного напряжения с учетом неидентичности сопротивлений тиристорных (диодов) и несимметрии управления тиристорами. Наличие в каждом из блоков большого числа элементов со случайным разбросом параметров позволяет считать, что плотность распределения задержки импульсов управления тиристорами подчиняется нормальному закону. Анализ вероятностных характеристик неканонических гармоник проведен с учетом разброса параметров электронных компонентов, подчиняющегося закону равномерной плотности. Показано, что математическое ожидание задержки открытия очередного блока тиристорных, дисперсию и другие числовые характеристики следует

определять с помощью линеаризации метода характеристических функций.

Ключевые слова: электроэнергетика транспорта, система тягового электроснабжения, электромагнитная совместимость.

The concept and prospects of technical development of the electric power industry of railway transport are substantiated. It is shown that the use of an electric traction system on a single-phase alternating current is accompanied by significant difficulties associated with ensuring high-quality selection of electricity from the power supply systems (asymmetry, non-sinusoidality and high consumption of reactive energy), strong electromagnetic influences on adjacent devices and poor quality of rectification of single-phase alternating current on electric rolling stock. The DC traction power supply system is devoid of these disadvantages, and with the same or comparable voltages in the traction network in these systems, the DC traction power supply system has significant advantages. With an increase in the speed of trains to 400 km per hour and a maximum increase in freight traffic, the most optimal voltage level in the DC traction network is 24 kV. Increasing the rated voltage in the traction network above 24 kV, for example to 30 kV, is limited by the criteria of economic feasibility. For this system, the most effective are 24-pulse rectification schemes; the creation of rectifier-inverter units with a number of pulsations greater than 24 is a complex technological task and is impractical according to technical and economic calculations. A method for determining the harmonic composition of the rectified voltage is given, taking into account the non-identical resistances of thyristors (diodes) and the asymmetry of the control of thyristors. The presence in each of the blocks of a large number of elements with a random spread of parameters allows us to assume that the distribution density of the delay of the thyristor control pulses obeys the normal law. The analysis of the probabilistic characteristics of non-canonical harmonics is carried out taking into account the spread of the parameters of electronic components, which obeys the law of uniform density. It is shown that the mathematical expectation of the delay in opening the next block of thyristors, the variance and other numerical characteristics should be determined using the linearization method of characteristic functions.

Key words: electric power industry of transport, traction power supply system, electromagnetic compatibility.

Совершенствование алгоритмов управления скоростью движения длинносоставных грузовых поездов

ЖУХИН Н.О., ПУДОВИКОВ О.Е.

Одним из способов повышения пропускной и провозной способности железных дорог является использование грузовых поездов повышенной массы и длины. С целью повышения безопасности движения для управления такими поездами применяются системы автоматического управления (САУ) скоростью, учитывающие особенности процессов, протекающих в железнодорожном составе. Известна САУ скоростью, реализующая разгон (торможение) поезда с изменением силы тяги или торможения в два этапа. Это уменьшает возникающие в поезде продольные динамические силы, но в ряде случаев приводит к затягиванию переходных процессов. Предложена усовершенствованная САУ скоростью, в которой в зависимости от степени растяжения/сжатия поезда перед началом разгона/торможения автоматически выбирается режим разгона/торможения – в один или два этапа. Одноэтапный разгона приводит к повышению пропускной способности железных дорог и экономии энергоресурсов на тягу поездов.

Ключевые слова: грузовой поезд, система автоматического управления, система автоведения, динамика грузового поезда, регулятор скорости, продольные силы, безопасность движения.

One of the ways to increase the capacity and carrying capacity of railways is the use of freight trains of increased weight and length. In order to improve traffic safety, automatic speed control systems are used to control such trains, taking into account the peculiarities of the processes occurring in the train. There is a known automatic speed control system that implements acceleration (braking) of a train with a change in the traction force or braking in two stages. This reduces the longitudinal dynamic forces that occur in the train, but in some cases leads to a delay in transients. An improved automatic speed control system is proposed, in which, depending on the degree of stretching (compression) of the train before starting acceleration (braking), the acceleration (braking) mode is automatically selected – in one or two stages. The use of one-stage acceleration of the train leads to an increase in the capacity of railways and savings in energy resources for train traction.

Key words: freight train, automatic control system, auto driving system, freight train dynamics, speed controller, longitudinal forces, traffic safety.

Электротехника, 2021, №9, стр. 47-51

Перспективы применения ВТСП-технологий для электроэнергетического комплекса транспортных средств

ТАТУЙКО П.С., ИНЬКОВ Ю.М., ФЕДЯЕВА Г.А., БЕЗЗУБЕНКО А.И.

Рассмотрены общемировые тенденции развития транспортных средств, указаны основные пути повышения энергоэффективности преобразовательной техники, рассмотрена возможность внедрения технологий высокотемпературной сверхпроводимости в силовых энергоустановках воздушного транспорта, приведены результаты экспериментальных и аналитических исследований проводящих свойств полевых транзисторов при функционировании в среде жидкого азота.

Ключевые слова: электрификация транспортных средств, криогенное охлаждение, высокотемпературная сверхпроводимость, исследование МОП-транзисторов.

The global trends in the development of vehicles are presented, the main ways of increasing the energy efficiency of conversion equipment are indicated, the possibility of introducing high-temperature superconductivity technologies in power plants of air transport is considered, the results of experimental and analytical studies of the conducting properties of field-effect transistors when operating in liquid nitrogen are presented.

Key words: vehicle electrification, cryogenic cooling, high-temperature superconductivity, MOSFET research.

Электротехника, 2021, №9, стр. 52-56

Прогнозирование выхода из строя тяговых электродвигателей электроподвижного состава железных дорог использованием глубоких нейронных сетей

СИДОРЕНКО В.Г., КУЛАГИН М.А.

Рассмотрены вопросы организации предиктивной диагностики, используемой в интеллектуальной системе управления производственными ресурсами городских рельсовых транспортных систем (ГРТС) при решении следующих задач: оценки состояния электроподвижного состава ГРТС, прогнозирования его работоспособности и принятия решения о необходимости внепланового осмотра и ремонта;

усовершенствования графика оборота подвижного состава и его адаптации под динамически изменяющиеся условия; повышения эффективности управления электроподвижным составом ГРТС, а именно – повышения уровня работоспособности и снижения вероятности внепланового ремонта и издержек на ремонт. Предложен алгоритм расчёта вероятности выхода из строя тягового электродвигателя и синтезирована архитектура автокодировщика, решающего эту задачу. Этот алгоритм позволит определять список электродвигателей с аномальным состоянием. Проведен обзор используемых на железнодорожном транспорте систем предиктивной диагностики. Представлен перечень признаков, используемых для обучения нейронной сети.

Ключевые слова: электроподвижной состав, городской рельсовый транспорт, тяговый электродвигатель, интеллектуальное управление, нейронные сети.

The issues of the organization of predictive diagnostics used in the intelligent production resource management system of urban rail transport systems (URTS) in solving the following tasks are considered: assessing the state of the electric rolling stock of the URTS, predicting its performance and deciding on the need for an unplanned inspection and repair; improving the rolling stock turnover schedule and its adaptation to dynamically changing conditions; to increase the efficiency of the management of the electric rolling stock of the URTS, namely, to increase the level of efficiency and reduce the probability of unplanned repairs and repair costs. An algorithm for calculating the probability of failure of a traction motor is proposed and the architecture of an auto-encoder that solves this problem is synthesized. This algorithm will allow you to determine the list of electric motors with an abnormal state. The review of predictive diagnostics systems used in railway transport is carried out. A list of features used for training a neural network is presented.

Key words: electric rolling stock, urban rail transport, traction electric motor, intelligent control, neural networks.

Электротехника, 2021, №9, стр. 57-61

Принципы нормирования уровня помех от тягового тока при работе приёмников автоматики и телемеханики

ШАМАНОВ В.И.

Основной причиной сбоев в работе рельсовых цепей и аппаратуры автоматической

локомотивной сигнализации на участках с электротягой является влияние асимметрии тягового тока в рельсовых линиях. Предельно допустимое значение асимметрии составляет 4% при переменном тяговом токе в рельсовой линии 300 А и 6% при электротяге постоянного тока. Такое нормирование устарело, так как, например, переменный тяговый ток при движении тяжеловесных поездов может достигать 800 А, вызывая пропорциональное увеличение тока асимметрии. При использовании кодов с бестоковыми интервалами до 80% сбоев в работе рассматриваемых устройств возникает, когда ток в обмотке приёмного импульсного реле, создаваемый помехами от тягового тока, превышает ток отпадания якоря этого реле. В таких случаях увеличение сигнального тока не повышает устойчивость работы этой аппаратуры; основной способ повышения устойчивости – уменьшение вероятности того, что ток, создаваемый помехами, будет больше тока отпадания приёмного реле. Это можно обеспечить при помощи фильтров с лучшей эффективностью или применением дополнительной фильтрации помех, а также использованием разных способов компенсации помех или увеличением коэффициента возврата приёмных реле.

Ключевые слова: автоматическая локомотивная сигнализация, асимметрия тягового тока, отношение сигнал/помеха, нормирование.

The main reason for failures in the operation of rail circuits and automatic locomotive signaling equipment in areas with electric traction is the influence of the asymmetry of the traction current in the rail lines. The maximum permissible value of the asymmetry is 4% for alternating traction current in a 300 A rail line and 6% for direct current electric traction. Such rationing is outdated, since, for example, the alternating traction current when moving heavy trains can reach 800 A, causing a proportional increase in the current of asymmetry. When using codes with non-current intervals of up to 80% of failures in the operation of the devices under consideration occur when the current in the winding of the receiving pulse relay, created by interference from the traction current, exceeds the armature drop-off current of this relay. In such cases, an increase in the signal current does not increase the stability of the operation of this equipment; the main way to increase stability is to reduce the probability that the current generated by interference will be greater than the drop – off current of the receiving relay. This can be achieved by using filters with better efficiency or using additional interference filtering, as well as using different methods of interference compensation or increasing the return coefficient of receiving relays.

Key words: automatic locomotive signaling, traction current asymmetry, signal/interference ratio, rationing.

Электротехника, 2021, №9, стр. 62-66

Опыт решения косвенной задачи прочности вентильного электродвигателя с особенностями распределения масс при воздействии на него синусоидальной вибрации

ИШУТИНОВ В.В., РУССКИХ А.Н.

Описан опыт проведения виртуальных испытаний на синусоидальную вибрацию вентильного электродвигателя с постоянными магнитами в САЕ-среде. Решена косвенная задача прочности при синусоидальной вибрации электродвигателя с сосредоточением масс в противоположной стороне от места крепления электродвигателя к угольнику.

Предложено конструктивное решение прохождения системы «угольник – электродвигатель» через резонансные частоты при условии технологичности угольника.

Проведен анализ зависимости амплитуды колебаний ответственных частей электродвигателя от механических свойств материала испытательного угольника, формы угольника, количества одновременно испытываемых электродвигателей на вибростенде.

Предложена оптимальная по частотным и амплитудным характеристикам форма испытательного угольника для проведения натурных испытаний электродвигателей со смещенным центром масс.

Ключевые слова: вентильный электродвигатель с постоянными магнитами, виртуальные испытания, синусоидальная вибрация, резонансные частоты, испытательный угольник.

This article describes the experience of performing virtual sinusoidal vibration tests on a brushless permanent magnet DC motor in a CAE environment. An indirect problem of strength is solved for sinusoidal vibration of an electric motor with a concentration of masses in the opposite side from the place of attachment of the electric motor to the square. A constructive solution is proposed for the passage of the «square-electric motor» system through the resonant frequencies, provided that the square is manufacturable. The analysis of the dependence of the vibration amplitude of the critical parts of the electric motor on the mechanical properties of the material of the test square, the shape of the square, the number of simultaneously tested electric motors on the vibration stand is carried out. The optimal shape of the test square in terms of frequency and amplitude characteristics is proposed for carrying out field tests of electric motors with a displaced center of mass.

Key words: brushless permanent magnet DC motor, virtual tests, sinusoidal vibration, resonant frequencies, test square.

Электротехника, 2021, №9, стр. 67-72

Методика определения амплитуды принужденной периодической составляющей переходного тока короткого замыкания

ИВАНОВ И.А., ЛЮБАРСКИЙ Д.Р., РУБЦОВ А.А., ТУЗЛУКОВА Е.В.

Предложена методика быстрого и селективного определения амплитуды принужденной периодической составляющей переходного тока короткого замыкания, в том числе, при наличии помех и спорадических насыщений трансформаторов тока. При частоте замеров тока 4–5 кГц минимальное время определения амплитуды с погрешностью $\pm(10-15) \%$ составляет 2–3 мс от начала короткого замыкания, если время до первого насыщения трансформаторов тока не менее 4–5 мс. Использование методики целесообразно в современных устройствах защиты и управления, в которых необходимо быстрое и селективное определение амплитуды принужденной периодической составляющей сверхбольшого переходного тока короткого замыкания.

Ключевые слова: электрические сети, устройства защиты и управления, ток короткого замыкания, амплитуда периодической составляющей.

A method is proposed for the rapid and selective determination of the amplitude of the forced periodic component of the transient short-circuit current, including in the presence of interference and sporadic saturation of current transformers. At a current measurement frequency of 4–5 kHz, the minimum time to determine the amplitude with an error of $\pm(10-15) \%$ is 2–3 ms from the beginning of the short circuit, if the time to the first saturation of the current transformers is not less than 4–5 ms. The use of the technique is advisable in modern protection and control devices, in which it is necessary to quickly and selectively determine the amplitude of the forced periodic component of an ultra-large transient short-circuit current.

Key words: electrical networks, protection and control devices, short-circuit current, the amplitude of the periodic component.

Электромагнитные процессы в зарядном устройстве на базе последовательного резонансного инвертора

ВАНЯЕВ В.В., КОПЕЛОВИЧ Е.А.

Рассмотрены особенности работы зарядного устройства высоковольтного емкостного накопителя энергии на базе транзисторного последовательного резонансного инвертора в режиме стабилизации напряжения на накопителе. С помощью математической модели установлены причины и области существования аномальных режимов работы зарядного устройства при стабилизации выходного напряжения, сопровождающиеся насыщением магнитопровода высоковольтного трансформатора, токовой перегрузкой транзисторов и превышением напряжения на элементах резонансного контура. Предложен алгоритм управления транзисторами инвертора, исключающий эти режимы.

Ключевые слова: емкостный накопитель энергии, зарядное устройство, резонансный инвертор, высоковольтный трансформатор, насыщение магнитопровода.

The features of operation of the charger of a high-voltage capacitive energy storage device based on a transistor serial resonant inverter in the mode of voltage stabilization on the storage device are considered. With the help of a mathematical model, the causes and areas of the existence of abnormal modes of operation of the charger during the stabilization of the output voltage, accompanied by saturation of the magnetic circuit of a high-voltage transformer, current overload of transistors and excess voltage on the elements of the resonant circuit, are established. An algorithm for controlling the transistors of the inverter, excluding these modes, is proposed.

Key words: capacitive energy storage, charger, resonant inverter, high-voltage transformer, magnetic circuit saturation.

Электротехника, 2021, №9, стр. 83-84

Всероссийскому электротехническому институту – 100 лет

Электротехника, 2021, №9, стр. 85-86

Леонид Самуилович Слуцкий

(К 80-летию со дня рождения)