

Статистические модели амплитуды и длительности импульсных электромагнитных помех в каналах автоматики и телемеханики метрополитена

БЕСТЕМЬЯНОВ П.Ф., ГОРЛИН И.Г.

Приведены результаты экспериментальных исследований помех от тягового тока поезда метрополитена, выполненных для определения характера распределения помехи. В основу методики положена аппроксимация экспериментальных данных аналитическим выражением на основе семейства кривых Пирсона путем расчета первых четырех моментов распределения. Общий массив исходных данных электромагнитных помех был разбит на две части в зависимости от типа подвижного состава (с включенной или выключенной системой следящего рекуперативно-реостатного торможения или без нее). Обработаны данные записей тягового тока длительностью 7-10 мин для поездов с рекуперативным торможением состава и без него. Для нормализации экспериментальных данных из них вычитается оценка математического ожидания и полученные значения делятся на оценку среднеквадратического отклонения. Полученный новый массив данных обладает нормализованными свойствами, т.е. нулевым математическим ожиданием и единичным среднеквадратичным отклонением. Затем из полученного нормализованного массива находятся первые четыре выборочных момента, на основании которых выбирается соответствующая кривая Пирсона. По данной методике производится оценка плотности распределения амплитуды импульсных помех и длительности импульсов электромагнитной помехи. Показано, что во всех двенадцати частотных диапазонах от 50 до 780 Гц, которые используются для работы устройств автоматики и телемеханики в метрополитене, плотность распределения амплитуды импульсной помехи и плотность распределения длительности импульсов помехи, может быть описана аналитическим выражением бета-распределения первого или второго рода

Ключевые слова: тяговой ток, импульсные помехи, плотность распределения вероятности, амплитуда импульсной помехи, длительность импульсной помехи, бета-распределение первого и второго рода, критерии Пирсона.

According to the results of experimental studies of interference from traction current of the train of underground processing was carried out implementations with the aim of establishing the distribution type of interference. The methodology is based on the approximation of experimental data by an analytical expression based on the Pearson family of curves by calculating the first four moments of the distribution.

General initial data array of electromagnetic interference was divided into two parts, depending on the type of impact rolling stock (with the included tracking system regenerative-rheostatic braking and turned off the system or not).

Handled the implementation with a duration of 7-10 minutes of the records of traction current for trains with regenerative braking composition and without regenerative braking. For normalization of experimental data is subtracted estimate and the values obtained are divided by the estimate of the standard deviation. Received the new dataset has been normalized properties, i.e., zero mathematical expectation and unit standard deviation.

Then according to the obtained normalized array are the first four sampling time on the basis of which selects the corresponding Pearson curve. According to this method are estimation of distribution density of the amplitude of impulse noise and the estimation of distribution density of the pulse duration of the electromagnetic interference.

It is shown that in all twelve frequency ranges from 50 Hz to 780 Hz, which are used for work of devices of automatics and telemechanics in the metro, and the distribution density of the amplitude of impulse noise and the density of the distribution of pulse duration, the interference can be described by the analytical expression of the beta-distribution of the first or second kind.

Key words: traction current, pulsed interference, the density of the probability distribution, the amplitude of the **impulse noise** duration, impulse noise, beta distribution of first and second kind, criteria of Pearson.

Электротехника 09-2016, стр.8-12

Стенд технологического контроля электрооборудования вагонов метрополитена РЯБЦЕВ Г.Г., ЖЕЛТОВ К.С.

Сокращение затрат на введение в эксплуатацию вагонов метрополитена может быть достигнуто путем проведения перед их обкаткой на линии приемо-сдаточных испытаний в стационарных условиях на специальном стенде, воспроизводящем реальные режимы работы электрооборудования вагонов. В статье изложены принципы построения такого испытательного стенда, опытный образец которого был изготовлен в электродепо "Выхино" Московского метрополитена. Принцип действия стенда основан на разряде мощного конденсаторного накопителя энергии, предварительно заряженного от внешнего источника электроэнергии до уровня рабочего напряжения в контактной сети тягового электроснабжения метрополитена, на элементы силовой цепи вагона. При разряде накопителя энергии в силовой цепи вагона возникают рабочие ток и напряжение. В

процессе испытаний якорные обмотки тяговых электродвигателей выводятся из силовой цепи, а действие их ЭДС, значения которых в реальных условиях изменяются с изменением скорости движения вагона, имитируется уменьшением уровня напряжения на накопителе при разряде его на элементы силовой цепи. Стационарные приемо-сдаточные испытания позволяют оперативно выявлять и устранять скрытые дефекты в электрооборудовании вагона. Такие операции в процессе обкатки вагона на линии выполнить невозможно, так как при обкатке работа электрооборудования вагона оценивается субъективно по внешним признакам движения вагона.

Ключевые слова: испытательный стенд, вагон метрополитена, электрооборудование, конденсаторный накопитель энергии.

Spending on putting into service of underground cars may be reduced by performing receiving-passing tests before test-run on the line using special stationary testing stand, which reproduces real working regimens of electric equipment of underground cars. The principles of the construction of the testing stand, the experimental sample of which was made in electrodepot “Vykhino” of the Moscow Metro, are presented in this article. The stand operation is based on discharging of powerful condenser energy storage, previously charged from exogenous source of energy up to the level of working voltage in contact circuit of the underground, in power circuit of underground cars. While discharging of energy store, working levels of voltage and current are realized in power circuit. In the process of testing, anchor windings of traction electric motors are took out of power circuit. Voltage of windings, in reality changed as function of speed of underground cars, is imitated by reduction of voltage of energy storage while discharging in power circuit. Stationary receiving-passing tests allow bringing out and removing hidden flaws in electric equipment of underground cars. There is no way to perform examination like this during test-run on the line, since estimation of working of electric equipment based on appearance of movement of cars is subjective.

Key words: testing stand, underground car, electric equipment, condenser energy storage

Электротехника 09-2016, стр. 12-18

Энергооптимальное управление движением транспортных средств

БАРАНОВ Л.А., КУЗНЕЦОВ Н.А., МАКСИМОВ В.М.

Выбор режима управления движением транспортного средства по критерию минимума

энергозатрат реализуется путем последовательного определения энергооптимального управления движением по перегону при заданном времени хода и энергооптимального распределения времени хода по перегонам. Статья посвящена выбору энергооптимального управления транспортного средства на основе принципа максимума в формулировке А.А. Милютина и А.Я. Дубовицкого. Рассмотрены примеры энергооптимального движения поездов метрополитена на перегонах с различными условиями движения. Решение второй оптимизационной задачи позволяет получить энергооптимальное распределение времени хода транспортного средства по линии на времена хода по перегонам. Решение базируется на аналитических и численных методах. Используются исследование функции многих переменных на условный экстремум, численная оптимизация и аппарат, базирующийся на методе динамического программирования. Приведено сравнение результатов решения. В связи с необходимостью в инженерной практике задания времен хода с определенным шагом дискретизации рекомендованы численные методы решения. На Московском метрополитене с учетом рекуперации энергии при росте перевозок с 2007 до 2015 годы на 22,95 %, удельный расход энергии увеличился только на 9,07 %.

Ключевые слова: транспортные средства, управление движением, методы оптимизации, энергооптимальность

The selection of vehicle control modes is performed with minimal energy spending criterion. It is done by sequential solving of two problems. First, we select energy optimal control for a vehicle given the fixed travel time for a run. Second, we make an energy optimal distribution of run times to build up a line travel time. We provide the solution of energy optimal train control selection problem for a railway run. The solution is based on the maximum principle in the formulation of A. Milyutin and A. Dubovitskiy. Examples of energy optimal trajectories are given for metro trains on runs with different traffic conditions. We provide the solution of the second optimization problem based on a mixture of analytical and numeric methods. We use search of conditional extremum of functions of multiple variables, numerical optimization and dynamic programming-based approach. The results for different methods are compared. In practice run times with fixed sampling step are required, for this purpose we recommend numerical methods. The practical effectiveness of the results is proven by practice: between 2007 and 2015 the traffic of the Moscow metro has grown 22.95% while spec. energy spending has grown only by 9.07%.

Key words: vehicles, traffic control, optimization methods, energy optimal

Влияние ночной расстановки составов на режим работы электроподвижного состава метрополитена

СИДОРЕНКО В.Г., ФИЛИПЧЕНКО К.М., ЧЖО М.А.

Построение планового графика движения поездов (ПГД) состоит из ряда этапов, включающих сбор и анализ исходных данных, формирование требований к интенсивности движения в зависимости от времени суток, техническому обслуживанию электроподвижного состава (ЭПС), определяющему необходимость совместного построения ПГД и графика оборота (ГО) подвижного состава. Одним из вопросов, оказывающих серьезное влияние на процедуру автоматизированного построения ПГД, совместимого с ГО, является способ ночной расстановки составов. В статье представлено математическое обеспечение решения задачи построения совокупности всех возможных вариантов организации ночной расстановки ЭПС на станции метрополитена.

Предложенный подход основан на применении теории графов к формализации предметной области и поиску решений. Разработанное алгоритмическое обеспечение может применяться для станций с произвольной конфигурацией путевого развития, описываемой планарным графом. Показано, что реализованные алгоритмы (построения дерева и уплотнения графа) эквивалентны с точностью до изоморфизма получаемой графовой структуры. Предложены программный продукт, реализующий указанные алгоритмы, и способ формализации описания путевого развития.

Ключевые слова: ночная расстановка ЭПС, теория графов, варианты расстановки.

A train schedule problem consists of some steps: compilation and analysis of source data, requirements formation of a volume traffic in dependency time of a day, requirements maintenance of electric motive power, which determinate necessity for combined generating of train schedule with maintenance schedule. One of the task, which heavy determinate on a procedure automated generating of train schedule combined with maintenance schedule, is solving of trains night stay problem. This article shows some mathematical provision of solving problem of generation all possible variants of trains night stay on station layout. Authors give propose an attitude based of using graph theory for formalization object and finding solution. The devise of algorithmic conforming can be using for station with free configuration of gridiron described by planar graph. It is show that implemented algorithms are (tree construction and sealing of the graph) equivalent veracity of isomorphism graph structure. Balance of the work it

is not only program product, it is represent determinate algorithm and method of formalization definition gridiron.

Key words: night stay problem, graph theory, possible variants of trains night stay on station layout.

Электротехника 09-2016, стр. 26-30

Дополнительные возможности вольтодобавочного трансформатора

ВЛАСОВ С. П.

Разработанный сотрудниками кафедры «Теоретические основы электротехники» Московского института инженеров железнодорожного транспорта совместно с работниками Службы электроснабжения Красноярской железной дороги и сконструированный и изготовленный на Средневолжском Производственном Объединении «Трансформатор» в г.Тольятти унифицированный трансформатор для электрифицированных ж.д. переменного тока ОРМЖ 10000/27 наряду с его главным назначением – продольным и продольно-поперечным регулированием напряжения на отстающей фазе тягового трансформатора с целью повышения напряжения в тяговой сети при больших тяговых нагрузках и ограничения уравнительного тока в тяговой сети может быть использован и для других целей:

при подключении к одной из секций обмотки низкого напряжения (2,5 кВ) конденсаторной батареи осуществляется компенсация реактивных (индуктивных) составляющих токов электровозов, снижаются потери энергии и потери напряжения в системе тягового электроснабжения, в тяговых трансформаторах и в системе внешнего электроснабжения при сохранении функций продольного и продольно-поперечного регулирования напряжения;

при осуществлении выносного питания тяговой сети на участках с большими тяговыми нагрузками (на участках с тяжелым профилем пути) достигается существенное повышение напряжения в средней части межподстанционной зоны и более равномерное его распределение в тяговой сети всей межподстанционной зоны;

при включении вольтодобавочной обмотки вольтодобавочного трансформатора в цепь отсоса тяговой подстанции достигается поворот векторов напряжений на рабочих фазах тяговой подстанции на углы $\pm\gamma$, что может быть использовано для ограничения уравнительного тока в тяговой сети межподстанционной зоны, обусловленного наличием поперечной разности напряжений на шинах соседних тяговых подстанций; особенно это

актуально на стыках соседних электроэнергетических систем;
для существенного повышения эффективности работы установок поперечной емкостной компенсации может быть рекомендована совместная работа вольтодобавочного трансформатора и установок поперечной емкостной компенсации; что сопоставимо с увеличением установленной реактивной мощности установок поперечной емкостной компенсации на 18-20%.

Ключевые слова: вольтодобавочный трансформатор, система тягового электроснабжения, тяговая подстанция, пост секционирования, электровоз, напряжение в тяговой сети, ток тяговой нагрузки, уравнивающий ток, установка емкостной компенсации.

Developed by the Department "Theoretical bases of electrical engineering" of the Moscow Institute of engineers of railway transport, together with employees of power supply Service of the Krasnoyarsk railway, and designed and manufactured in the Middle of the Production Association "Transformer" in Togliatti unified transformer for electrified railway. d. AC ORMI 10000/27 along with its main purpose – longitudinal and longitudinal-transversal voltage regulation at lagging phase traction transformer with the purpose of increasing the voltage in the traction network for large traction loads and limit the surge current in the traction network can be used for other purposes:

when you connect to one of the sections of the winding low voltage (2.5 kV) capacitor Bank compensation of reactive (inductive) components of the electric currents, reduced energy losses and voltage losses in the system of traction electric power traction transformers and the external power supply while maintaining the functions of longitudinal and longitudinal-transversal voltage regulation;

in the exercise of external power supply traction network in areas with large traction loads (in areas with heavy path profile) is achieved a significant increase in tension in the middle part merpttazinol zone and the more uniform its distribution in the traction network all merpttazinol zone;

when you turn on the booster winding of the booster transformer in the circuit of the suction traction substations is achieved by the rotation of the vectors of voltages at the working phase traction substation at angles $\pm\gamma$, which can be used to limit the surge current in the traction network merpttazinol zone due to the presence of the cross of the voltage difference between the tire adjacent traction substations; this is especially true at the joints of neighboring power systems;

you can significantly improve the efficiency of the installations, the transverse capacitive

compensation may be recommended by the joint work of the booster transformer and installations of the transverse capacitive compensation; which is comparable to the increase in the installed reactive power settings of the transverse capacitive compensation by 18-20%.

Key words: booster transformer system of traction power supply, traction substation, sectioning post, locomotive, traction voltage, traction current loading, surge current, and installation of capacitive compensation.

Электротехника 09-2016, стр. 31-38

Управление тяговым электроприводом гибридного маневрового тепловоза с асинхронными двигателями в режиме реализации предельных усилий

ИНЬКОВ Ю.М., ФЕДЯЕВА Г.А., ТАРАСОВ А.Н.

Рассмотрены особенности конструкции и регулирования тягового электропривода опытного образца четырехосного гибридного маневрово-вывозного тепловоза ТЭМ9Н, имеющего двухосные тележки с параллельным подключением асинхронных тяговых двигателей к одному инвертору. Использование на локомотиве наиболее динамичных алгоритмов разрывного управления асинхронными двигателями при регулировании потокосцепления статора, а также аккумуляторной батареи с большим энергозапасом и суперконденсаторов позволяет без учета свободной мощности дизеля на тягу регулировать силу тяги по требуемому закону, применяя новые алгоритмы реализации предельных тяговых и тормозных усилий. В пилотном варианте тепловоза не предусмотрены наклонные тяги в конструкции тележек или специальные догрузатели для выравнивания вертикальной нагрузки осей локомотива, в результате чего разница вертикальных нагрузок между осями тележки составляет в среднем шесть тонн при номинальном электромагнитном моменте двигателя. На основе компьютерного моделирования проанализированы перспективные алгоритмы управления тяговым электроприводом гибридного маневрового тепловоза ТЭМ9Н с совместным регулированием асинхронных двигателей тележки на пределе по сцеплению колес с рельсами, позволяющие скомпенсировать неоптимальность конструкции ходовой части и обеспечить использование потенциальных условий сцепления не менее чем на 90 % в режиме реализации предельных усилий.

Ключевые слова: тяговый электропривод, предел по сцеплению, асинхронные двигатели, управление, моделирование

The peculiarities of the structure and regulation of electric traction drive of a prototype four-axle hybrid shunting TEM9H locomotive having two-axle bogies and connected in parallel asynchronous traction motors to one inverter. Using the most dynamic algorithms for a discontinuous control of asynchronous motors in the regulation of the flux linkage of the stator and the battery with a large energy level and superconductors allows excluding a free diesel power for traction to adjust the force of traction required by law, by applying the new algorithms of the maximum tractive and braking efforts. A pilot locomotive does not include inclined rods or special loaders to balance the vertical load of the axles of the locomotive, whereby the difference in vertical loads between the bogies of the locomotive is about of 6 tons at the nominal electromagnetic torque of the motor. Promising control algorithms of traction electric drive of hybrid shunting locomotive TEM9H with the joint regulation of asynchronous motors truck, allowing to compensate lacks of design of the running gears to ensure that the potential of adhesion is not less than 90% in a mode of the maximum effort, are analyzed with the help of computer simulation.

Key words: traction electric drive, limit coupling, asynchronous motor, control, simulation

Электротехника 09-2016, стр. 38-44

Особенности тягового электрооборудования перспективного электроподвижного состава

ИНЬКОВ Ю.М., ЛИТОВЧЕНКО В.В., НАЗАРОВ Д.В.

На магистральных железных дорогах России применяются две системы питания: постоянного тока напряжением 3 кВ и переменного тока напряжением 25 кВ частотой 50 Гц. Поэтому перспективный электроподвижной состав должен быть двойного питания. Повышение мощности и конструкционной скорости локомотивов базируется на применении асинхронных тяговых двигателей (АТД) с короткозамкнутым ротором, которые позволяют увеличить силу тяги и вес поезда, мощность и скорость доставки грузов, повысить надежность и снизить стоимость жизненного цикла, увеличить срок службы. Электрооборудование для такого подвижного состава должно быть максимально полно использовано как при работе от контактной сети постоянного тока, так и переменного. В статье на примере модуля тягового привода одной тележки двухсистемного электровоза рассмотрено построение схемы силовых цепей. Предложено

использовать вторичные обмотки тягового трансформатора в качестве дросселя входного фильтра при питании от контактной сети постоянного тока. Регулирование режимов работы АТД осуществляется от статических полупроводниковых преобразователей двухзвенной структуры. Входные преобразователи обеспечивают обмен электрической энергией между контактной сетью и промежуточным звеном постоянного напряжения, а выходные звеном постоянного напряжения, а выходные преобразователи осуществляют регулирование тяговых двигателей путем изменения величины и частоты напряжения на обмотках статора АТД в зависимости от скорости движения электровоза и режима его работы. Входные 4QS-преобразователи и выходные преобразователи представляют собой автономные инверторы напряжения, преобразующие постоянное напряжение промежуточного звена в переменное: в случае входных в однофазное, выходных – в трехфазное. Приведены основные соотношения позволяющие определить напряжения и токи 4QS-преобразователя, определить переменную составляющую в выпрямленном токе 4QS-преобразователя и сформулировать требования к резонансному L2C2-фильтру, настроенному на частоту 100 Гц. Приведены выражения для определения коэффициента мощности входного преобразователя, а также рекомендации для определения основных параметров электрооборудования.

Ключевые слова: электроподвижной состав, асинхронный тяговый двигатель, автономный инвертор напряжения, 4QS-преобразователь.

On the main railways in Russia used two systems the current in the contact wire: DC 3 kV and AC voltage of 25 kV, 50 Hz. Therefore, prospective electric rolling stock should be double the power. Improving the capacity and structural speed of locomotive is based on the use of asynchronous traction motors (ATD) with squirrel-cage rotor allows to increase the traction force and the weight of the train, to increase the capacity and speed of cargo delivery, increase reliability and reduce life cycle costs, to increase service life. Electrical equipment for such rolling stock should be as fully used when working from the contact network DC and AC. The article on the example of the module of the traction drive one truck dual-system electric locomotives are considered, the scheme of power circuits. It is proposed to use the secondary winding of traction transformer as a choke input filter when powered from the contact network DC. Regulation of operation modes of asynchronous traction motors (ATD) is carried out from a static semiconductor converters two-tier structure. Input transducers provide the exchange of electric energy between the contact network and the intermediate link DC voltage and output converters regulate the traction motors by changing the magnitude and frequency of voltage on

the stator windings of ATD depending on the speed of the locomotive and its operating mode. How 4QS input converters and output converters are Autonomous voltage inverters that converts the DC voltage of the intermediate AC: in the case of single-phase input and output – three-phase. Given the basic ratios to determine voltages and currents 4QS converters, to determine the variable component of the rectified current 4QS Converter and to formulate requirements to the resonant L2C2 filter configured for a frequency of 100 Hz. Expressions are given for determining the ratio of the input power of the converter, as well as recommendations for determining the basic parameters of electrical equipment.

Key words: electric rolling stock, with asynchronous traction motor, autonomous voltage inverter, 4QS converter.

Электротехника 09-2016, стр.44-50

Системы скалярного управления тяговым асинхронным двигателем

КОСМОДАМИАНСКИЙ А.С., ВОРОБЬЕВ В.И., ПУГАЧЕВ А.А.

Приведен краткий обзор и дана сравнительная характеристика систем управления асинхронными двигателями, пригодными для тягового электропривода. Показано, что, несмотря на очевидные преимущества систем векторного и прямого управления моментом, системы скалярного управления до сих пор находят широкое применение. Рассмотрены особенности работы систем скалярного управления с постоянством абсолютного скольжения и минимумом тока статора. На базе эквивалентной схемы замещения асинхронного двигателя с учетом потерь в стали статора и ротора представлена сравнительная оценка рассмотренных систем скалярного управления по критерию коэффициента добротности с учетом температуры обмоток двигателя. Приведены результаты моделирования в Matlab для двигателя мощностью 11 кВт. Установлено, что системы скалярного управления, работающие по принципу минимума тока статора, обладают преимуществом, так как поддерживают требуемое значение момента с большими коэффициентами добротности, что приводит к снижению электромагнитных нагрузок и потерь. Показано, что необходимо учитывать влияние температуры обмоток на напряжение статора и параметры системы управления в связи с ее влиянием на минимум тока статора и оптимальное абсолютное скольжение, обеспечивающее экстремальное управление по минимуму тока.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, скалярное управление, минимум тока, постоянство скольжения, коэффициент добротности, температура обмоток

The brief survey and comparative characteristics of scalar control systems feasible for using in traction induction motors electric drive are carried out. Despite an obvious advantages of vector control systems and systems of direct torque control, scalar control systems are shown to be widely employed still. The topologies and main features of scalar control systems with modes of constant slip and stator current minimum are considered. Based on equivalent circuit of induction motor with taking power losses in stator and rotor iron, saturation and rotor skin effect into account, the comparative assessment of scalar control systems with considered modes relatively to efficiency coefficient is presented with regards to temperature of the stator and rotor windings. The simulation results in Matlab are presented for the 11 kW induction motor electric drive. The scalar control system operating in mode of stator current minimum is established to have an advantage as it keeps the required value of torque with higher values of efficiency coefficient that leads to decreasing of the stator voltage and current, electromagnetic stresses and power losses. The necessity of taking temperature of the stator and rotor windings into account for the need of evaluation of optimal values of the stator voltage and settings of scalar control system because of its strong influence on values of the stator current minimum and, especially, optimal slip providing that minimum is shown.

Key words: induction motor, scalar control system, stator current minimum, slip constancy, windings temperature, efficiency coefficient

Электротехника 09-2016, стр. 51-57

Совершенствование основных требований к системе и устройствам тягового электроснабжения постоянного тока

АРЖАННИКОВ Б.А., БАДЕР М.П., БУРКОВ А.Т., КОТЕЛЬНИКОВ А.В.,
НАБОЙЧЕНКО И.О.

В системе тягового электроснабжения постоянного тока 3,0 кВ «Правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации» и «Правилами устройства системы тягового электроснабжения железных дорог Российской Федерации (ЦЭ-462)» установлены четкие требования по обеспечению минимального напряжения в контактной сети для грузового и скоростного пассажирского движения поездов, подтвержденные нормативами Европейского электротехнического стандарта EN 50163 (1995 г.). Однако при этом нормативы напряжения на тяговых подстанциях (ЦЭ-462) противоречат

максимальному длительному напряжению в контактной сети определенному ВНИИЖТ и принятому Стандартом EN.50163. В статье предлагается длительное в нормальном рабочем режиме напряжение на тяговых подстанциях – минимальное 3600 В и максимальное 3700 В. Максимальное напряжение получено в результате электрического расчета системы тягового электроснабжения на участках с тяжелым горным профилем пути при пропуске поездов повышенной массы (6300 – 9000 т) или двух соединенных поездов общей массой 12000 т с мощными электровозами 2ЭС6, 2ЭС10, 3ЭС10, и подтверждено многолетней эксплуатационной работой на участке Тюмень – Екатеринбург – Пермь – Балезино длиной 923 км со стабилизацией напряжения на тяговых подстанциях 3650 В. Уровни напряжения на шинах тяговых подстанций, обеспечиваются системой бесконтактного автоматического регулирования (БАРН) с погрешностью плюс – минус 0,6 %. Максимальное напряжение на шинах тяговой подстанции допустимо и равно максимальному напряжению в контактной сети 4000 В в режиме рекуперации.

Ключевые слова: электровоз, контактная сеть, тяговая подстанция, преобразовательный трансформатор, устройство регулирования напряжения.

Under 3,0 kV DC traction power supply system clear-cut requirements to ensure minimum voltage in the catenary for freight and high-speed passenger train movement have been made by «Regulations for maintenance of Russia's railways» and «Regulations for construction of RF railway traction power supply system (TsE-462)», which are confirmed by the Norms of European electrotechnical BS EN 50163 Standard (1995). However, the voltage norms at traction substations (TsE-462) contradict the maximum continuous catenary voltage determined by VNIIZhT and accepted by BS EN 50163 Standard. This paper proposes that the continuous traction substation voltage values at normal operating mode to be 3600 V at the minimum and 3700 V at the maximum. The maximum 3700 V voltage was the result of electrical estimate of power supply system on sections with heavy mountainous type on passing the trains with increased weight of 6300–9000 t or two connected trains with overall weight of 12000 t with powerful 2ES6, 2ES10, 3ES10 locomotives, this voltage being confirmed by many years' running on Tyumen – Ekaterinburg – Perm – Balezino 923 kilometer section with voltage stabilization at 360 V traction substations. The voltage levels at traction substation buses are ensured by NAVR system with $\pm 0,6$ % inaccuracy. The maximum traction substation bus voltage is permissible and equal to 4000 V maximum catenary voltage under recuperation.

Key words: locomotive, catenary, traction substation, transformer, adjusting device of voltage.

Электротехника 09-2016, стр. 57-61

Повышение энергетических показателей электровоза переменного тока за счет новой структуры управления компенсатором

КУЛИНИЧ Ю.М., ШУХАРЕВ С.А.

Рассмотрено устройство для повышения коэффициента мощности электровоза переменного тока, выполненное на базе регулируемого пассивного компенсатора реактивной мощности. Такая конфигурация компенсатора позволяет повысить коэффициент мощности электровоза во всех режимах его работы. Управление компенсатором осуществляется методом экстремального регулирования напряжения на выходе автономного инвертора напряжения (АИН), которое выбирается на основе численного дифференцирования зависимости коэффициента мощности от напряжения АИН. Математическое моделирование работы компенсатора с экстремальным регулятором, выполненное в пакете MATLAB, показало высокую эффективность предложенного устройства.

Ключевые слова: электровоз, компенсатор реактивной мощности, коэффициент мощности, система экстремального регулирования, численное дифференцирование.

In the paper the device for power factor improvement for the electric locomotives based on passive adjustable compensator was described. This configuration allows you to increase the power factor of electric locomotive in all modes of its work. The management of the compensator unit is based on the extremum seeking control principles. Changing the voltage value is based on the numerical differentiation depending power factor on the inverter voltage. Mathematical modeling of the compensator with extreme control provided in the package MATLAB, showed a high efficiency of the device.

Key words: electric locomotive, compensator of reactive power, power factor, extremum control system, numerical differentiation.

Электротехника 09-2016, стр. 61-67

Статистическая взаимосвязь основных параметров силовых полупроводниковых приборов и режимов работы преобразовательных устройств

ИНЬКОВ Ю.М., КЛЯЧКО Л.М., САЧКОВА Е.В.

Рассматривается выбор типа и класса силового полупроводникового прибора, комплектующего статический преобразователь электрической энергии при учете взаимосвязей между основными параметрами этих приборов и режимами работы

преобразователей. Отмечено, что в качестве параметров приборов следует пользоваться не данными, приведенными в каталогах и технических условиях на прибор того или иного типа, а статистическими данными, полученными для представительной выборки приборов в различных режимах их работы. Выполнен анализ статистических взаимосвязей таких важных параметров тиристора, как напряжение переключения, время выключения, скорости нарастания прямого тока и напряжения, с режимами работы преобразователей и даны рекомендации по методике выбора типа полупроводниковых приборов для преобразователей.

Ключевые слова: силовые полупроводниковые приборы, режим работы преобразователя, преобразователь электрической энергии, температура структуры полупроводникового прибора, случайная величина, случайная функция.

The article discusses the selection of the type and class of power semiconductor device, which is a part of the static converter of electrical energy having in view the interaction between the main parameters of these devices and converter operation modes. It is suggested not selecting as parameters the data given in catalogues and technical specifications for the device of a particular type but the statistical data obtained for a representative sample of devices of a particular type in various modes of their operation. It is given the analysis of statistical relationships of such important parameters of the thyristor as the switching voltage, off time, rise rate of direct current and voltage with converter operation modes and it is recommended how to select the type of semiconductor devices for converters.

Key words: power semiconductor devices, converter operation mode, electric power converter, semiconductor device structure temperature, random variable, random function.

Электротехника 09-2016, стр. 68-72

Система автоматического управления скоростью движения электропоезда городской транспортной системы

ПУДОВИКОВ О.Е., АУНГ ЗО ТУН

Предложена адаптивная система автоматического управления скоростью движения электропоезда, позволяющая учесть специфические требования, предъявляемые объектом управления. К таким требованиям относятся ограничения уровня показателя плавности хода в переходных режимах движения, характеризующего степень комфорта для пассажиров, а также возможность реализовывать ускорения (замедления), отличающиеся от номинальных. При решении использованы методы теории автоматического управления

и имитационного моделирования. Требуемое качество управления обеспечивается тем, что входной задающий сигнал для контура управления скоростью сглаживается при помощи оператора, в основе которого лежит интегрирование с насыщением. Параметры контура управления скоростью определены в результате решения задачи параметрического синтеза. Результатом работы является алгоритм работы системы автоматического управления (САУ) скоростью электропоезда, применение которого обеспечивает ограничения уровня показателя плавности хода в переходных режимах движения. В результате решения задачи параметрического синтеза также получены аналитические зависимости, связывающие параметры закона управления САУ скоростью с массой поезда, использование которых обеспечивает независимость качества управления от массы поезда.

Ключевые слова: городские транспортные системы, электропоезд, регулятор скорости, качество управления, многокритериальная оптимизация.

The adaptive system of automatic control of the speed of movement of the electric train allowing to consider the specific requirements imposed from object of management is offered. Need of observance of restriction for the size of an indicator of smoothness of the course for the transitional modes of the movement characterizing comfort degree for passengers and also an opportunity to realize the size of acceleration (delay) other than nominal belong to such requirements. In case of the decision methods of the theory of automatic control and imitating modeling are widely used. Achievement of required quality of management is provided that the entrance setting signal for a contour of a speed control is exposed to smoothing using the operator whose cornerstone transaction of integration with saturation is. Parameters of a contour of a speed control of system are found in result of the solution of a task of parametrical synthesis. Are result of performance of work algorithm of work of automatic control system (ACS) with speed of the electric train which application provides observance of restrictions for the size of an indicator of smoothness of the course in the transitional modes of movement. the tasks of parametrical synthesis received as a result of the decision the analytical dependences connecting parameters of the control law ACS by speed with the mass of the train which use provides independence of quality of management of the mass of the train.

Key words: city transport systems, electric train, speed regulator, quality of management, multi-objective optimization.

Методика проектирования систем электронного подогрева катодов сварочных электронных пушек

ЩЕРБАКОВ А.В., ПОГРЕБИССКИЙ М.Я., ДРАГУНОВ В.К., РУБЦОВ В.П., ГОНЧАРОВ А.Л., ИВАЩЕНКО М.В., КОЖЕЧЕНКО А.С.

Предложена комплексная методика анализа процессов в системах косвенного подогрева катодов сварочных электронных пушек. Обоснована необходимость рассмотрения процесса формирования электронного пучка в катодном узле с заданными геометрическими характеристиками электродов для расчета распределения плотности теплового потока по поверхности основного катода. Проанализировано типовое распределение плотности теплового потока по поверхности основного катода при его нагреве электронной бомбардировкой при использовании спирального проволочного подогревателя. Описана методика расчета распределения температуры по элементам конструкции типового катодного узла и проанализированы результаты расчетов. Рассмотрено влияние неравномерности распределения плотности тока электронного пучка по нагреваемой поверхности основного катода и отвода тепла на распределение температуры и плотности тока эмиссии на рабочей поверхности основного катода. Показано преимущество предложенной методики по сравнению с существующими идеализированными математическими моделями и ее пригодность для решения задач проектирования электронных пушек различной конструкции.

Ключевые слова: электронная пушка, электронный пучок, косвенный подогрев катода, катодный узел, методика проектирования, электронная оптика, теплопередача

A complex method for analysis of the processes in the systems of indirect cathode heating for electron beam welding guns is proposed. The necessity of the electron beam formation with predetermined geometric characteristics of the electrodes in the cathode assembly is justified to calculate the distribution of the heat flux on the main cathode surface. The typical distribution of the heat flux on the surface of the main cathode when it is heated by electron bombardment in the case of the spiral wire heater has been analyzed. A method for calculating the temperature distribution on the elements of a typical cathode assembly was described, and the results were analyzed. The influence of the electron beam current density distribution inhomogeneity on the heated surface of the main cathode and the dissipation of heat on the temperature distribution and the emission current density at the working surface of the main cathode were considered. The versatility of the proposed method in comparison with existing idealized mathematical models and its suitability to meet the challenges of electron guns

designing were justified.

Key words: electron gun, electron beam, indirect cathode heating, cathode assembly, design technique, electron optics, heat transfer

Электротехника 09-2016, стр. 80-81

Авторы опубликованных статей