

Электротехника, 2017, №10, стр.2

Обращение к читателям

ПАНЫЧЕВ А.Ю.

Электротехника, 2017, №10, стр. 3-8

Зависимость степени компенсации реактивности синхронного компенсатора от его параметров

КИМ К.К., ПАНЫЧЕВ А.Ю., БЛАЖКО Л.С.

Рассмотрено асинхронное самовозбуждение синхронной машины с двумя обмотками на роторе при включении в ее цепь последовательной емкости. Приведены формулы для расчета свободных колебаний. Показано, что для системы, составленной из симметричной синхронной машины и последовательно включенной емкости возможны две частоты собственных колебаний, каждая из которых соответствует определенной области зоны самовозбуждения. Приведено уравнение кривой, определяющей зону самовозбуждения. Исследовано влияние различных параметров машины на нижнюю часть зоны самовозбуждения. Показано, что величина последней определяется отношением активных сопротивлений цепей машины, а не их абсолютными значениями. Приведена методика определения параметров, обеспечивающих требуемую компенсацию реактивности машины.

Ключевые слова: линия электропередачи, серийная компенсация, синхронная машина, асинхронное самовозбуждение.

We consider the problems of the asynchronous self-excitation of a synchronous machine with two rotor windings at the connection a series capacitance into its circuit. We give the formulas to calculate free vibrations. We show that for the system consisted of a symmetric synchronous machine and series capacitance, there are two natural frequencies, each of them corresponds to the definite zone of self-excitation. We give the equation of a curve which defines the area of self-excitation. The influence of different machine parameters on the lower part of the zone of self-excitation are investigated. It is shown that its value is determined by the ratio of the active resistances of machine circuits but not by their absolute magnitudes. We find out the role of the machine leakage. It is given the method to determine the parameters providing the required

compensation of the machine reactance.

Key words: power line, series compensation, synchronous machine, asynchronous self-excitation.

Электротехника, 2017, №10, стр.8-13

Концептуальная модель системы энергообеспечения интегрированной сети скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта России

БУРКОВ А.Т., СЕРОНОСОВ В.В., МИЗИНЦЕВ А.В.

Стратегией развития железнодорожного транспорта России до 2030 г. и на дальнейшую перспективу предусмотрено применение новых технологий, обеспечивающих российским железным дорогам, выполняющим роль одного из ключевых факторов роста экономики, ее системообразующего сегмента, конкурентоспособное положение в транспортном комплексе страны. В статье рассмотрены основные факторы, прорывные технологии, на основе которых создается интегрированная сеть скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения. Определяющее значение отведено наращиванию скоростей движения пассажирских и грузовых поездов, объединению скоростных и высокоскоростных магистралей в единую сеть, обеспечивающих агломерационный эффект, мобильность, энергоэкономичность и экологическую безопасность. В один из приоритетов выделен фактор надежного и безопасного электрообеспечения конкурентоспособного железнодорожного сообщения, для которого сформирована концептуальная модель системы железнодорожного электроснабжения.

Ключевые слова: электрифицированные магистрали, новые системы электротяговых сетей, универсальные электронные преобразователи, бесколекторные тяговые двигатели, удельное электропотребление, энергетическая составляющая себестоимости перевозок

The strategy of railway transport development in Russia till 2030 and for further perspective provided by the use of new technologies, supporting Russian Railways, performing the role of one of the key factors in the growth of the economy, its backbone segment, the competitive situation in the transport complex. Discusses factors breakthrough technologies to create an integrated network of high-speed rail. Specifies the value assigned to the increasing speeds of passenger and freight trains, combining high-speed and high-speed lines in a single network, providing agglomeration effect, mobility, energy efficiency and environmental safety. Allocated a priority factor for reliable and safe electrical supply competitive railway, which formed the

conceptual model railways power supply system.

Key words: electrified highways, new system of electrotraction networks, universal electronic converters, brushless traction motors, specific power consumption, the energy component of the cost of transportation.

Электротехника, 2017, №10, стр.14-18

Использованием нейро-нечетких диагностических моделей при оценке технического состояния электрооборудования тепловоза

АГУНОВ А.В., ГРИЩЕНКО А.В., КРУЧЕК В.А., ГРАЧЕВ В.В.

Средства бортовой диагностики являются важнейшим звеном в системе управления техническим состоянием и надежностью подвижного состава и, в частности, тепловозного парка. Они позволяют осуществлять непрерывный контроль качества эксплуатации локомотива, оперативно выявлять и прогнозировать изменение его технического состояния без изъятия из перевозочного процесса, что, в свою очередь, дает возможность эффективно использовать дорогостоящие стационарные и локальные диагностические средства, а также корректировать сроки и объемы технического обслуживания с учетом реального технического состояния. В связи с этим актуальной является разработка методов оценки технического состояния агрегатов локомотива, основанных на использовании информации подсистемы диагностики систем МСУ-Т(П,Э) современных тепловозов и программных средств обработки измерительной информации, реализующих эти методы. Основной задачей таких средств является контроль технического состояния оборудования локомотива и прогнозирование его изменения. В настоящее время для решения таких задач, как правило, применяются упрощенные диагностические модели. Однако для повышения эффективности и достоверности контроля технического состояния столь сложных объектов, как локомотив, необходимо использовать более сложные диагностические модели, основанные на использовании аппарата искусственных нейронных сетей. Статья посвящена применению метода нейросетевых и нейронечетких диагностических моделей для диагностирования системы возбуждения тягового генератора современных тепловозов. В качестве диагностической информации используются данные подсистемы диагностики бортовой микропроцессорной системы управления тепловоза (МСУ-ТП), передаваемые в режиме реального времени на удаленный сервер диагностики. Выполнена проверка адекватности и эффективности предлагаемого метода диагностирования системы возбуждения тягового генератора с

использованием результатов обработки массивов измерительной информации.

Ключевые слова: тепловоз, тяговый генератор, нейронная сеть, диагностика, техническое состояние, диагностическая модель, микропроцессорная система управления, диагностическая информация.

Means on-board diagnostic are important components in the management system of technical condition and reliability of rolling stock and, in particular, diesel park. They allow continuous monitoring of quality of operation of the locomotive, to quickly identify and predict the change of its technical condition without withdrawal of the carriage in the process of that in turn, enables efficient use of expensive stationary and local diagnostics, as well as to adjust the timing and amount of maintenance taking into account the real technical condition. In this regard, relevant is the development of methods for assessing the technical condition of units of the locomotive, based on the use information of the diagnostic subsystem of the system of LSG-T(N,e) modern locomotives and of software for processing measurement data, implement those methods. The main task of such tools is control of the technical condition of the equipment of the locomotive and forecasting its changes. Currently, to solve such problems, as a rule, are simplified diagnostic model. However, to improve the efficiency and reliability of control of technical condition of complex objects such as a locomotive, it is necessary to use more complex diagnostic models based on the use of artificial of neural networks. This article is devoted to application of the method of neural network and neurodiagnostic models for the diagnosis of the excitation system of the traction generator-to-time locomotives. As diagnostic information, use data-diagnostic system on-Board the microprocessor control system of locomotive (MSU-TP) is transmitted in real time to a remote server diagnosis. Verify the adequacy and effectiveness of the proposed method of diagnosing of the excitation system of the traction generator using the results of processing arrays of measurement information.

Key words: the locomotive, traction alternator, neural network, diagnostics, technical condition, the diagnostic model, microprocessor-based control system, diagnostic information.

Электротехника, 2017, №10, стр.19-22

**Управляемое устройство компенсации реактивной мощности для
электрифицированных железных дорог переменного тока**

МАРИКИН А.Н., МИРОЩЕНКО В.А., НИКИТИН В.В., ТРЕТЬЯКОВ А.В.

Электрифицированные железные дороги переменного тока являются крупным потребителем электрической энергии, поэтому проблема разработки адаптивного устройства компенсации реактивной мощности, позволяющего управлять ею при резкопеременном характере нагрузки тяговой сети, является актуальной. В статье рассмотрено управляемое устройство параллельной компенсации реактивной мощности для электрифицированных железных дорог, выполненное на базе реактора с индуктивностью, управляемой посредством электромеханического привода сердечника. Приведены функциональная и структурная схемы системы автоматического управления устройством компенсации, с использованием математического моделирования исследованы показатели качества системы управления. Показано, что предложенное устройство позволяет эффективно реагировать на резкие изменения нагрузки в тяговой сети, сохраняет устойчивость, обеспечивая удовлетворительное качество переходных процессов, и исключает генерирование высших гармоник тока в тяговую сеть.

Ключевые слова: электрифицированные железные дороги, компенсация реактивной мощности, управляемый реактор, система автоматического управления.

Electrified AC railroads are a major consumer of electrical energy, so the problem of developing an adaptive reactive power compensation device that allows it to be controlled with an abruptly variable load of the traction network is relevant. The article deals with a controlled device for parallel compensation of reactive power for electrified railways, based on a reactor with an inductance controlled by an electromechanical core drive. The functional and structural diagrams of the automatic control system of the compensation device are given, and the quality indicators of the control system are investigated using mathematical modeling. It is shown that the proposed device can effectively respond to sudden changes in load in the traction network, maintains stability, providing a satisfactory quality of transients, and excludes generation of higher harmonics of current in the traction network.

Key words: electrified railways, reactive power compensation, controlled reactor, automatic control system.

Электротехника, 2017, №10, стр.23-28

Анализ электромагнитных процессов в однородной длинной линии

ЯКУШЕВ А.Я., СЕРЕДА А.Г., ВАСИЛЕНКО М.Н., БУЛАВСКИЙ П.Е., БЕЛОЗЕРОВ В.Л.

Выполнен анализ зависимостей между токами и напряжениями на зажимах однородной длинной линии, позволяющих более корректно объяснить изменения тока и напряжения в тяговой сети при коммутации тиристорных плеч выпрямительно-инверторного преобразователя по сравнению с выводами, полученными при замещении длинной линии цепью с сосредоточенными параметрами. В среде MatlabSimulink предложена имитационная модель однородной длинной линии с малыми потерями, адекватно отображающая перемещение падающих и отраженных электромагнитных волн по линии. Представлены передаточные функции, аппроксимирующие частотные зависимости удельных параметров петли «эквивалентный рельс–земля» и петли «контактная подвеска–земля», рассчитанные с учетом увеличения сопротивления проводов за счет вихревых токов и поверхностного эффекта. Показано влияние частотных зависимостей удельных электрических параметров тяговой сети, рассчитанных по различным методикам, на затухание свободных колебаний напряжения на токоприемнике электровоза, полученных путем моделирования электромагнитных процессов в системе «тяговая подстанция–тяговая сеть–электровоз».

Ключевые слова: длинная линия, тяговая сеть, телеграфное уравнение, метод бегущих волн, метод разделения переменных, метод конечных элементов.

The article is devoted to the analysis of the regularities between currents and voltages at terminals of a homogeneous long line that allow more correctly explain the changes in current and voltage in the traction network when switching thyristor arms of the rectifier-inverter converter in comparison with the conclusions obtained by replacing the long line with a chain with lumped parameters. An imitation model of a homogeneous long line with low losses in the Matlab Simulink environment is proposed, which adequately reflects the motion of the incident and reflected electromagnetic waves along the line. Transfer functions are presented that approximate the frequency dependences of the specific parameters of the «equivalent rail–ground» loop and the «contact suspension–ground» loops, calculated taking into account the increase in the resistance of the wires due to eddy currents and the surface effect. The influence of the frequency dependences of the specific electric parameters of the traction network, calculated by various methods, on the damping of free voltage oscillations on the current collector of an electric locomotive obtained by modeling electromagnetic processes in the system «traction substation-traction network-electric locomotive» is shown.

Key words: long line, traction network, telegraph equation, running wave method, method of separation of variables, finite elements method.

Электротехника, 2017, №10, стр.29-32

Повышение эффективности существующей системы реостатного торможения тепловозов

ИЗВАРИН М.Ю., ЛЕОНОВ А.Е., РОЛЛЕ И.А., КОКУРИН И.М., МАНАКОВ А.Д.,
БУЛАВСКИЙ П.Е.

Электрическое реостатное торможение используется на большом количестве серий тепловозов. В статье проанализированы достоинства и недостатки существующих систем реостатного торможения тепловозов и электроподвижного состава. Приведена принципиальная схема реостатного торможения шестиосной секции тепловоза 2ТЭ116. Анализируется система реостатного торможения с независимым возбуждением, которая более широко распространена на электроподвижном составе российских железных дорог. Предложено схемотехническое решение системы реостатного тормоза тепловоза 2ТЭ116У, позволяющее применять реостатное торможение без дополнительного расхода топлива. Рассмотрена работа предложенной схемы, а также отмечаются ее основные преимущества перед существующими техническими решениями. Предполагается, что данная система без увеличения расхода топлива на тягу позволит также снизить расход тормозных колодок до 60%.

Ключевые слова: тепловоз, дизель-генератор, тяговый электродвигатель, импульсный преобразователь, аккумуляторная батарея, реостатный тормоз.

Electrical rheostat braking is used on a large number of diesel locomotives. The article analyzes the advantages and disadvantages of the existing systems of rheostatic braking of diesel locomotives and electric rolling stock. The principal scheme of the rheostatic braking of the six-axle section of the diesel locomotive 2TE116 is given. Its advantages and disadvantages are noted. The system of rheostatic braking with independent excitation is analyzed in detail, which is more widely spread on the electric rolling stock of Russian railways. A circuit-based solution of the rheostat brake system of the diesel locomotive 2TE116U is proposed, which makes it possible to apply rheostatic braking without additional fuel consumption. The work of the proposed scheme is described, as well as its main advantages over the existing technical solutions. It is assumed that this system without increasing the fuel consumption for traction will also reduce the brake pad consumption to 60%.

Key words: diesel locomotive, diesel-electric engine, traction motor, chopper, battery, rheostatic brake.

Электротехника, 2017, №10, стр.33-36

Переходное электрическое сопротивление контактов с учётом шероховатости поверхности

ИВАНОВ И.А., КИСЕЛЁВ И.Г., УРУШЕВ С.В.

Рассмотрено переходное электрическое сопротивление контактной системы. Определена зависимость переходного электрического сопротивления контактов от шероховатости контактирующих поверхностей, что особенно существенно при малых контактных давлениях. На переходное электрическое сопротивление кроме параметров шероховатости поверхностей существенное влияние оказывают физико-механические характеристики контактирующих поверхностей. Предложена методика определения переходного электрического сопротивления контактов, учитывающая материал, шероховатость и форму контактирующих поверхностей, а также силы контактного давления. Значение переходного электрического сопротивления, полученное на основе предложенной методики, хорошо согласуется с экспериментом в области реально действующих контактных давлений в электрических контактах.

Ключевые слова: контактирующие поверхности, переходное электрическое сопротивление, параметры шероховатости поверхности, сопротивление стягивания, сопротивление пленки, сопротивление микровыступов.

The transitional electric resistance of contact system is considered. The dependence of transitional electric resistance of contacts on roughness of the contacting surfaces is defined that it is especially essential with small contact pressure. Transitional electric resistance except parameters of roughness of surfaces essential is influenced by physicomachanical characteristics of the contacting surfaces. The technique of determination of transitional electric resistance of contacts considering material, roughness and a form of the contacting surfaces and also force of contact pressure is offered. The size of transitional electric resistance received on the basis of the offered technique well will be coordinated with an experiment in the field of really operating contact pressure in electric contacts.

Key words: the contacting surfaces, transitional electric resistance, surface roughness parameters, tightening resistance, film resistance, resistance of microledges

Электротехника, 2017, №10, стр.37-41

Плазменная установка для повышения гидрофильности бумажных изделий

КИМ К.К., СПИЧКИН Г.Л., БЫСТРОВ К.Е., ГРОШЕВ Г.М., КОТЕНКО А.Г.,
КОСТРОМИНОВ А.М.

Обработка различных материалов с помощью низкотемпературной газоразрядной плазмы с целью очистки поверхности или изменения структуры материала является весьма перспективным способом из-за генерации частиц, которые вступают в реакцию с молекулами примесей или основного материала. Кроме того, молекулы поверхностного слоя материала подвергаются воздействию ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучений, генерируемых в катодном слое разряда. Только объемный газовый разряд может обеспечить высокую степень однородности воздействия на поверхность материала. Для повышения интенсивности плазмохимических реакций целесообразно повышать частоту питающего напряжения источника газоразрядного реактора или переходить к импульсно-периодическому режиму электропитания. Частота повторения импульсов должна быть согласована с характерной частотой протекания плазмохимических реакций. Опытные установки, основным элементом которых является газоразрядный реактор, продемонстрировали успешную работу при модификации объемной структуры тонкой бумажной ленты с целью повышения ее гидрофильности.

Ключевые слова: газоразрядный реактор, объемный газовый разряд, низкотемпературная газоразрядная плазма, бумажная лента, гидрофильность.

The treatment of various materials with the help of low-temperature gas-discharge plasma to clean a surface or change of their structure is rather perspective, because of the generation of particles, which react with molecules of impurities or basic material. Besides the molecules of a surface of a material are exposed to influence of ultraviolet and soft x-ray radiations, generated in a cathode layer of the discharge. Only volumetric gas discharge can guarantee a high degree of uniformity of influence to the surface of a material. For increase of intensity of plasma chemical reactions it is expedient to increase the frequency of a supplied voltage of discharge reactor or to pass to a pulse-periodic regime of the power supply. The frequency of recurrence of pulses

should be coordinated with characteristic frequency of passing of plasma chemical reactions. The installations, which have the discharge reactor as a basic element, shown the successful work at modification the volumetric structure of a thin paper tape for increasing its hydrophilic property.

Key words: gas-discharge generator, space gas charge, low temperature plasma, paper tape, hydrophilic.

Электротехника, 2017, №10, стр.41-45

Совершенствование устройств ограничения тока коллекторных тяговых двигателей электрического подвижного состава постоянного тока

МАЗНЕВ А.С., НИКИТИН А.Б., КОКУРИН И.М., КОСТРОМИНОВ А.М., МАКАРОВА Е.И.

Для повышения надежности тяговых двигателей при колебаниях напряжения в условиях резкого увеличения тока якорей используются специальные схемные решения, позволяющие ограничить амплитуду броска тока. Наиболее простое техническое решение, предполагающее параллельное подключение конденсатора большой емкости к обмоткам возбуждения накопителя энергии несовершенно, так как не позволяет корректировать ток возбуждения. Предложен альтернативный подход к обеспечению надежности работы тяговых двигателей. Приведены схемные решения, выполнено моделирование, в результате которых выявлены основные характеристики и закономерности рассмотренных решений. Показано, что прямое подключение обмоток возбуждения к сети не исключает бросков тока якорей, а использование резисторов в цепи обмоток возбуждения малоэффективно. Моделирование процессов и расчеты показывают целесообразность включения обратного диода, а при необходимости и реактора, и реализации импульсного регулирования тока возбуждения.

Ключевые слова: электрический подвижной состав постоянного тока, коллекторные тяговые двигатели, устройств ограничения тока.

To solve the problem of increasing the reliability of traction motors with voltage fluctuations under conditions of a sharp increase in the current of anchors, special circuit solutions are used. They allow you to limit the amplitude of the current surge. The simplest technical solution, involving the parallel connection of a large capacitor to the windings of the energy drive excitation, is incomplete, since it does not allow to correct the magnitude of the excitation

current. The article suggests an alternative approach to ensuring the reliability of traction motors. Circuit solutions are presented, as well as simulation. As a result, the main characteristics and patterns of various circuit solutions are revealed. It is shown that direct connection of excitation windings to the network does not exclude armature current spikes, and the use of resistors in the excitation winding circuit is ineffective. Modeling of processes and calculations show the feasibility of including a reverse diode, a reactor (if necessary) and the implementation of pulse regulation of the excitation current.

Key words: electric rolling stock DC, collector traction motors, current limiting devices.

Электротехника, 2017, №10, стр.46-52

Повышение энергетической эффективности электрического подвижного состава переменного тока

ТИТОВА Т.С., ЕВСТАФЬЕВ А.М., СЫЧУГОВ А.Н.

Компания ОАО «РЖД» занимает активную позицию в выполнении программ энергосбережения. Стратегические приоритеты этих программ - разработка и внедрение новых типов энергоэффективного подвижного состава, модернизация эксплуатируемых и приобретение локомотивов с улучшенными энергетическими характеристиками. После продолжительного периода застоя в транспортном машиностроении производители железнодорожной техники начинают применять передовые ресурсосберегающие технологии мирового уровня, однако на железных дорогах России продолжается эксплуатация электровозов переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями и электровозов, оборудованных ступенчатым регулятором напряжения тягового трансформатора. Несмотря на то, что пуск и регулирование скорости электровозов переменного тока осуществляются без потерь в пусковых сопротивлениях, повышенное потребление реактивной мощности и искажение формы тока, потребляемого из контактной сети, является общим недостатком электровозов этого поколения. В статье рассмотрены основные методы и схемотехнические решения устройств регулирования реактивной мощности и ограничения высших гармоник тока и напряжения на электрическом подвижном составе переменного тока, а также принципы действия и структуры активных и гибридных фильтров и корректоров мощности. Приведены примеры различных технических решений, обеспечивающих активную фильтрацию высших гармоник.

Ключевые слова: электрический подвижной состав переменного тока,

энергоэффективность, качество электрической энергии, зонно-фазовое регулирование, коэффициент мощности, четырехквadrантный ($4q-S$) преобразователь.

The Company «Russian Railways» took an active position in the implementation of programs aimed at energy saving. The strategic priority of these programs is the development and introduction of new types of energy efficient rolling stock, the modernization of the operated and the acquisition of new locomotives with improved energy characteristics. After a long period of stagnation in the transport engineering industry, railway equipment manufacturers are starting to use advanced world-class resource-saving technologies. However, operation of AC electric locomotives with rectifier-inverter converters continues on the Russian Railways at present as well as electric locomotives with diode rectifiers equipped with a step-by-step voltage regulator of the traction transformer. Despite the fact that starting and speed control of AC electric locomotives are carried out without losses in starting resistances by voltage regulation, increased consumption of reactive power and distortion of the form of current consumed from the catenary are common disadvantage of this generation of AC electric locomotives. The main methods and circuitry of devices that regulate reactive power and limit the higher harmonics of current and voltage in the electric rolling stock of alternating current, as well as the principles of operation and structure of active and hybrid filters and power correctors are considered. Examples of various technical solutions providing active filtration of higher harmonics are given.

Key words: AC electric rolling stock, electric energy quality, zone-phase control, power efficiency, $4q-S$ converter.

Электротехника, 2017, №10, стр.52-56

Устройство и алгоритм обнаружения боксования колесных пар электрического подвижного состава

ЕВСТАФЬЕВ А.М., БОРОНЕНКО Ю.П., ИЗВАРИН М.Ю., АНДРЕЕВ В.Е.

Железнодорожный транспорт характеризуется высоким потреблением энергии и влиянием на окружающую среду. Это относится, прежде всего, к подвижному составу с тяговыми двигателями последовательного возбуждения и резисторно-контакторной системой управления. Низкий коэффициент сцепления между колесом и рельсом существенно ограничивает возможности эффективного использования мощности тягового двигателя в режимах тяги и электрического торможения. Использование песка для повышения

коэффициента сцепления приводит к загрязнению верхнего строения пути, наносит вред окружающей природе, вызывает износ бандажей колесных пар и рельсов. Разработаны новый алгоритм обнаружения боксования и юза колесных пар и устройство для его реализации, приведена математическая модель предлагаемого алгоритма.

Ключевые слова: электрический подвижной состав, устройство обнаружения боксования колесных пар, моделирование.

Railway transport is characterized by high energy consumption and environmental impact. This applies, first of all, to the rolling stock with series excitation traction motors and a resistor-contact control system. The low coefficient of adhesion between the wheel and the rail severely limits the ability to effectively use the power of the traction motor in traction and electric braking modes. Using of sand to increase the coefficient of adhesion leads to contamination of the upper structure of the road, it damages the environment, causes wear of wheelbars and wheel rails. A new algorithm of detection of yoke and wheel pairs and a device for its implementation are developed; a mathematical model of the proposed algorithm is given.

Key words: electric rolling stock, wheel skidding detection device, modelling.

Электротехника, 2017, №10, стр.56-61

Применение интеллектуальных технологий для повышения энергоэффективности электроподвижного состава постоянного тока

ЗАЙЦЕВ А.А., ЕВСТАФЬЕВ А.М., ПЕГОВ Д.В., КРЫЛОВ А.В.

Железнодорожный транспорт является крупным потребителем энергоресурсов. Энергетической стратегией железнодорожного транспорта предусмотрено создание моторвагонного подвижного состава с плавным регулированием скорости, обеспечивающим экономию электроэнергии до 10%. Анализ состояния локомотивного парка показал, что в настоящее время моторвагонный подвижной состав обладает высокой энергоемкостью. Наряду с капитальными затратами на приобретение подвижного состава и расходами на текущее содержание значительную часть составляют расходы на электроэнергию, их сокращение предусмотрено энергетической стратегией ОАО РЖД в период до 2020 года. Применение морально устаревших энергоустановок (тяговых двигателей постоянного тока с реостатным пуском) является основной причиной повышенного расхода электроэнергии на тягу поездов. Решить задачу повышения энергоэффективности электроподвижного состава можно

только с помощью интегрированной системы управления тягового привода, основанной на современных интеллектуальных технологиях.

Ключевые слова: электропоезд постоянного тока, интеллектуальные технологии управления, интегрированный блок управления тяговыми двигателями, плавный пуск, экономия электроэнергии.

Railway transport is a major consumer of energy resources. The creation of the multiple unit with smooth speed regulation, which allows energy savings of up to 10% is provided by the energy strategy of railway transport. Analysis of the state of the locomotive fleet has shown that at present multiple unit has a high energy capacity. Along with the capital cost for the acquisition of rolling stock and the cost of current maintenance, electricity cost make a significant part, its reduction is provided by the energy strategy of Russian Railways until 2020. The using of outmoded power plants (rheostatic starting of DC traction motors) is the main reason for the increased electric power consumption for traction of trains.

Key words: the train of constant current, intellectual control technology, integrated control unit traction motors, soft start, energy savings.

Электротехника, 2017, №10, стр.65-69

Применение ионисторов в системах оперативного постоянного тока для сглаживания провалов напряжения

ГУСЕВ Ю.П., СМОТРОВ Н.Н., ЧО Г.Ч.

Приведены результаты исследования влияния ионисторов на глубину и длительность провалов напряжения в системе оперативного постоянного тока подстанций. Анализ вариантов подключения ионисторов показал, что их применение в системах оперативного постоянного тока позволяет сгладить провалы напряжения, вызванные короткими замыканиями. Дана оценка возможности выполнения требований по электромагнитной совместимости в части провалов напряжения в электроустановках оперативного постоянного тока подстанций при коротких замыканиях. Результаты подтверждают эффективность применения ионисторов в системах оперативного постоянного тока для сглаживания провалов напряжения, вызванных короткими замыканиями. Даны рекомендации по применению ионисторов для повышения надежности работы электроприемников оперативного постоянного тока подстанций.

Ключевые слова: микропроцессорная релейная защита, ионисторы, электромагнитная совместимость, оперативный ток, провалы напряжения.

The research results of the ultracapacitors influence on the voltage drop amplitude and the duration in substations' DC auxiliary power supply systems were presented. The several variants of the ultracapacitor places of installation in DC network were discussed. Analysis of connectivity options ultracapacitors demonstrated that their use in the operational DC system allows smooth voltage dips caused by short circuits. The estimation of the fulfillment of the electromagnetic compatibility requirements with the voltage drops consideration in substations' DC network during the short-circuit faults was made. The results confirm the effectiveness of the use of ultracapacitors in the operational DC system to smooth the voltage dips caused by short circuits.

Key words: microprocessor relay protection, supercapacitors, electromagnetic compatibility, operating current, the voltage sags.

Электротехника, 2017, №10, стр.69-72

Способ защиты линии из двух кабелей от однофазного замыкания на землю

НОВОЖИЛОВ А.Н., НОВОЖИЛОВ Т.А., ИСАБЕКОВ Ж.Б.

Разработан способ защиты от однофазного замыкания на землю электрической линии из двух кабелей, основанный на измерении разности токов нулевой последовательности в кабелях этой линии. С этой целью предложен простой метод моделирования токов нулевой последовательности в линии из двух кабелей, в основе которого лежит преобразование схемы электрической сети в расчетную схему и использование системы схемотехнического моделирования Electronics Workbench. Выявлены зависимости токов нулевой последовательности и их разности от места расположения точки однофазного замыкания на землю и емкости относительно земли всех линий сети кроме исследуемой двухкабельной, предложены схемы для реализации устройства защиты, определена зона ее действия.

Ключевые слова: электрическая сеть, двухкабельная линия, однофазное замыкание на землю, моделирование.

The method of protection against single phase-to-earth fault of the electric line of two cables based on measurement of current difference of zero-sequence in cables of this line is developed. For what the simple method of zero-sequence currents simulation in line of two cables, based on the conversion of an electrical network scheme to the design scheme and use of Electronics Workbench general-circuit simulation system is offered, revealed dependences of these currents and their difference from the location of a point of single phase-to-earth fault and sizes of capacity concerning the earth of all lines of a network except the studied two-cable, offered schemes for implementation of the protection organization on this method and defined zone of its action.

Key words: electric network, two-cable line, single phase-to-earth fault, simulation.

Электротехника, 2017, №10, стр.72-75

Влияние фазы напряжения в момент короткого замыкания на время срабатывания выключателя в судовых сетях переменного тока

МАЛЫШКИН С.Б., БОЧКАРЕВ В.Н.

Быстродействующие защиты, реагирующие на производную или мгновенное значение тока, в судовых сетях переменного тока характеризуются задержкой срабатывания. Показано, что задержка может достигать 13,5 мс для защит, реагирующих на производную тока, и 9,5 мс для защит, реагирующих на мгновенные значения тока. Такие задержки снижают эффективность применения быстродействующих защит и токоограничивающих выключателей. Оценивается влияние фазы напряжения источника в момент короткого замыкания (КЗ) на время достижения контролируемой величиной уставки срабатывания защиты от КЗ. Выполнен расчет времени нарастания мгновенного значения тока КЗ и его производной до значения уставки срабатывания в зависимости от кратности уставки, от значения нагрузочного тока до возникновения КЗ и фазы напряжения в момент КЗ. Построены графики этих зависимостей. Даны рекомендации по сокращению времени задержки срабатывания защиты.

Ключевые слова: судовые электроэнергетические системы, фаза включения напряжения, релейная защита, производная тока, быстродействие.

Authors define a problem of delayed tripping of high-speed protections in response to derivative or instantaneous currents in marine AC networks. It is shown that the delay may reach 13,5 ms in

protections reacting to current derivatives or 9,5 ms in protections reacting to instantaneous currents. Such delays reduce efficiency of high-speed protections and current limiting breakers. Authors estimate influence of voltage phase at the moment of short circuit on the time required for the controlled value to reach the setting for protection tripping, as well as calculate build-up time of instantaneous short-circuit current and its derivative to the trip setting, considering setting ratio, pre-fault load current value and voltage phase at the moment of short circuit. Dependence diagrams are presented in the report. Recommendations are given for reduction of relay tripping time delay.

Key words: marine electric power systems, energization phase, relay protection, current derivative, quick response.

Электротехника, 2017, №10, стр.75-81

Регулирование выходного напряжения управляемого выпрямителя на базе трансформатора с вращающимся магнитным полем

САКОВИЧ И.А., ЧЕРЕВКО А.И., КУЗЬМИН И.Ю.

Рассмотрен новый способ управления выпрямителем, построенным на базе трансформатора с вращающимся магнитным полем (ТВМП), конструктивно выполненным с четным числом секций круговой обмотки (КО), который позволяет удвоить число пульсаций выпрямленного напряжения на периоде питающего напряжения, что приводит к уменьшению размаха пульсаций и улучшает качество выпрямленного напряжения. Анализируется геометрическое подобие КО ТВМП, позволяющее реализовать новый способ управления. Представлены алгоритмы коммутации силовых ключей для классического и нового способов управления для любого четного числа секций КО. В качестве примера рассмотрена очередность коммутации силовых ключей для КО с десятью секциями. Показаны формы выходного напряжения для различной глубины его регулирования. Представлена методика расчета регулировочной характеристики для классического и нового способов управления, а также соответствующие графики. Для приведенного примера, когда КО имеет десять секций, дана оценка эффективности нового способа управления, приведены зависимости коэффициента пульсаций по напряжению от среднеквадратичного значения выпрямленного напряжения. Дан сравнительный анализ количества пульсаций при различном числе секций круговой обмотки и определен гармонический состав спектра выходного напряжения для рассматриваемого примера. Сделан вывод о том, что в случае

применения нового способа управления для достижения требуемого качества выпрямленного напряжения число секций круговой обмотки может быть уменьшено в два раза по сравнению с классическим способом управления, что упростит изготовление магнитопровода трансформатора, в два раза уменьшит число пар силовых ключей, коммутирующих отводы круговой обмотки, уменьшит массогабаритные и стоимостные показатели полупроводникового коммутатора и самого ТВМП. Применение нового способа управления позволяет приблизить эффективность применения управляемого выпрямителя с четным числом секций круговой обмотки трансформатора к эффективности применения трансформатора с нечетным числом секций КО и классическим способом управления. Новый способ управления обеспечивает выполнение требований к допустимому значению коэффициента пульсаций выходного напряжения управляемого выпрямителя на базе трансформатора с вращающимся магнитным полем, установленному ГОСТ13109-97, при меньшем среднеквадратичном значении выпрямленного напряжения.

Ключевые слова: выпрямитель, трансформатор, вращающееся магнитное поле, многофазные преобразователи, качество выпрямленного напряжения, способ управления.

A new control algorithm for rectifier, based on the transformer with rotating magnetic field (TRMF), assembled with even section numbers of circular winding (CW), which allows to double a pulses number of rectified voltage on the power supply period, that lead to reducing ripple amplitude and improve the quality of rectified voltage is describes. In the article analyzing geometrical CW analogy allows to realize the new control algorithm. Power switches control algorithms for classical and new control method for different add and even CW sections number is given. The power switches commutation sequence for the ten sections CW is described. Output voltage waveforms for its different regulation depth are proposed. The regulation curve calculating procedure for the classical and the new control methods is too described. For the proposed in this article example when CW has ten sections, the new control algorithms efficiency estimation and pulsation factor of voltage – rectified voltage RMS value graphical relationships for the classical and the new control methods are given. Relation analysis of pulses number for different CE sections number and output voltage harmonic spectrum structure for considered example is determined. In article present conclusions that in case of using the new control method for achieve a necessary quality of rectified voltage the CW section number may be reduced to twice in comparison with the classical control method, that simplify manufacturing TRFM iron circuit, reduced to twice the number of power switches pairs that commutating CW

taps, reduced mass-dimensional and costs factors semiconductor commutator and a TRFM as a whole.

Key words: rectifier, transformer, rotating magnetic field, multiphase convertors, quality of the rectified voltage, control method.

Электротехника, 2017, №10, стр.82-87

Расчет кондуктивных помех и нагрева экрана контрольного кабеля

ШИШИГИН С.Л., ЧЕРЕПАНОВ А.В., ШИШИГИН Д.С.

Разряды молнии и короткие замыкания (КЗ) являются основными источниками кондуктивных помех, которые, распространяясь по контрольным кабелям, могут привести к отказу микропроцессорной аппаратуры в системах защиты и управления электрических подстанций. Двустороннее заземление экрана контрольного кабеля существенно снижает уровень импульсных и высокочастотных кондуктивных помех, однако приводит к нагреву экрана в режиме КЗ. Действующие стандарты определяют кондуктивные помехи и нагрев экрана как функцию напряжения экрана, что удобно для уединенного кабеля. Рассмотрен более общий случай с учетом магнитных связей кабеля с другими проводниками, когда в качестве расчетного параметра используется ток. Кондуктивные помехи при первом импульсе тока молнии определяются с использованием передаточного сопротивления «экран-жила» или с 3D-моделью кабеля в общем случае. Для расчета нагрева используется формула ГОСТ 28895-91, которая в современных стандартах не применяется из-за допущения о постоянстве тока в процессе КЗ. Реализация этой формулы в шаговом алгоритме дает корректные результаты. Магнитные связи кабеля с другими проводниками выражены в виде вносимого сопротивления, которое увеличивает полное сопротивление экрана, снижает ток и нагрев экрана. На примере для кабеля КВВГЭ показана возможность существенного снижения кондуктивных помех и нагрева экрана кабеля за счет прокладки параллельных проводников. Сделан вывод, что для снижения кондуктивных помех и нагрева экрана кабеля необходимо снижать ток экрана.

Ключевые слова: контрольный кабель, кондуктивная помеха, нагрев экрана, передаточное сопротивление, вносимое сопротивление, шаговый алгоритм.

Lightning strokes and short circuits are the main conductive noise sources which spread through control cables and lead to microprocessor-based equipment failure in protection and control

systems of electric power substations. Two-sided screen grounding decreases impulse and high-frequency conductive noise level significantly, but leads to screen heating in short-circuit mode. Existing standards define conductive noise and heating of the screen as a voltage function that is convenient only for a single cable. In this paper a more common case is considered which takes into account the magnetic coupling with other conductors. Current should be used as a calculation parameter for this task. Conductive noise calculations at first lightning current impulse are carried out using the “screen - cable core” transfer impedance or 3D cable model in common case. For the heating calculation we came back to the GOST 28895-91 formula that was rejected in modern standards due to the oversimplified assumption of the current invariability in short-circuit process (in reality the current decreases as the screen heats). The implementation of this formula in step algorithm gives correct results. Cable magnetic coupling with other conductors is represented as insertion impedance which increases screen impedance, decreases screen current and heating. The numerical example for a typical cable shows the possibility of significant cable screen conductive noise and heating reduction due to parallel conductors laying. The conclusion is made that in order to reduce cable conductive noise and screen heating it is necessary to reduce screen current.

Keywords: control cable, conductive noise, screen heating, transfer impedance, insertion impedance, step algorithm.

Электротехника, 2017, №10, стр.87-91

Исследование влияния неисправностей подшипника на КПД асинхронного двигателя

САФИН Н.Р., ПРАХТ В.А., ДМИТРИЕВСКИЙ В.А.

Рассмотрено влияние технического состояния подшипников на коэффициент полезного действия асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором. Эксперименты проводились при испытаниях асинхронного двигателя в номинальном режиме с исправным и двумя неисправными подшипниками, имеющих дефекты во внутренней и внешней частях обойм. Дефекты подшипников увеличивают потери энергии, что приводит к повышенному рассеиванию тепла в зоне контактов его элементов, перегреву и снижению КПД двигателя. Получены уточненные данные по изменению КПД АД с неисправным подшипником с учетом прогретого состояния машины, что является приближением к реальным условиям эксплуатации. Проведено тепловое обследование двигателя, представлены графические данные, характеризующие изменение температур

узлов и КПД машины при работе с неисправным подшипником. Рассмотрена методика диагностики состояния подшипников по интегральным параметрам виброускорений, позволяющая анализировать возможные дефекты с учетом слабого уровня их развития и сдвига по частотной характеристике.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, коэффициент полезного действия, тепловизионное обследование, неисправности подшипников, тепловые потери, диагностический параметр, виброускорение.

The article deals with issues of influence of bearings' technical condition on the induction efficiency motors with squirrel-cage rotor. The experiments has been carried out using the tests of the induction motor at rated nominal mode, healthy bearing and with two defective ones, which had defects of inner and outer parts of cages. The bearing weariness causes the inequality of air gap, which leads the decrease of efficiency of machine. The bearings defects increase the energy losses, which leads to increased heat dissipation in contact parts of its elements, overheating and reducing of motor efficiency. More accurate data on changes of IM's efficiency with a faulty bearing are obtained on the heated state of the machine, which is close to the actual operating conditions. The thermal imaging inspection of motor are performed, graphic dates are presented, which describe the changes in temperature units and efficiency of machine with working with faulty bearing. The diagnostic method the condition of bearings by using integral diagnostic parameters of vibrational acceleration are reviewed, that alloys analyze possible weak defects and considers the shift of the frequency response.

Key words: induction motor, efficiency, thermal imaging inspection, bearing failures, heat losses, diagnostic parameter, vibrational acceleration.

Электротехника, 2017, №10, стр.92-97

Многопараметрическая оценка качества трансформаторного масла

КИСЛЯКОВ М.А., ЧЕРНОВ В.А., ЧЕРНЫШЕВ В.А.

Предложен метод определения качества трансформаторного масла, в основу которого положено измерение абсорбционных характеристик и анализ спектров токов поляризации, тесно связанных со структурой и химическим составом масла. Лабораторные исследования проб нового и регенерированного масел позволяют получить эталонные значения параметров диагностического контроля: электрического сопротивления, коэффициента диэлектрической абсорбции, обобщенного индекса поляризации, токовой

нестабильности и формы спектра токов поляризации. Формирование модели обобщенного показателя качества исследуемого объекта основано на квалиметрическом подходе к определению средневзвешенных арифметических единичных показателей качества. Адекватность и работоспособность модели многопараметрической оценки качества масла выполняется на пробах эксплуатационного трансформаторного масла, применяемого в силовых трансформаторах напряжением 110 кВ. Такой метод оценки состояния изоляционной среды позволяет охарактеризовать конкретную пробу трансформаторного масла некоторым числом, отражающим диэлектрическую устойчивость. Обобщенный показатель качества учитывает разнородность и нестабильность измеренных значений отдельных параметров контроля и позволяет ранжировать различные пробы диагностируемого масла.

Ключевые слова: трансформаторное масло, абсорбционные характеристики, спектры токов поляризации, обобщенный показатель качества.

Reliable and uninterrupted power transmission in many respects depends on trouble-free and no-failure operation of power transformers most of which part of an insulating interval is made by transformer oil. The method of definition of quality of transformer oil which basis measurement of absorbing characteristics and the analysis of ranges of the currents of polarization which are closely connected with structure and the chemical composition of insulating material is offered. Laboratory researches of tests of the new and regenerated transformer oils allow to receive reference values of parameters of diagnostic check: electric resistance, coefficient of dielectric absorption, the generalized polarization index, current instability and a form of a range of currents of polarization. Formation of model of the generalized indicator of quality of the studied object is based on qualimetric approach to definition of the average arithmetic single indicators of quality. Adequacy and operability of the created model of a multiple parameter assessment of quality of liquid dielectric is carried out on tests of operational transformer oil applied in power transformers of 110 kV. Application of this method of an assessment of a condition of the insulating environment allows to characterize concrete test of transformer oil some number reflecting dielectric stability. The generalized indicator of quality considers heterogeneity and instability of the measured values of separate parameters of control, allows to carry out operations of ranging of various tests of the diagnosed oil.

Key words: transformer oil, absorption characteristics, spectra of polarization currents, total quality index.