

Анализ степени искрения отдельных коллекторных пластин электрических машин фотостробоскопическим методом

МИРОНОВ А.А., САЙФУТДИНОВ Р.Х.

Анализ причин отказов электровозов показал, что неисправности коллекторно-щеточного узла (КЩУ) электрических машин составляют 10–15% от общего количества отказов. Разработано большое количество различных методик контроля степени искрения пластин КЩУ, основанных на измерении различных физических величин, связанных с процессом искрообразования в КЩУ. В статье приводится описание метода автоматизированного анализа степени искрения отдельных коллекторных электрических машин, выполняемого с применением стробоскопической фоторегистрации искрения с компьютерной обработкой фотографических изображений искрящих пластин с целью получения степени искрения для каждой коллекторной пластины. Рассмотрены методы обработки этих изображений при помощи оригинального программного обеспечения, созданного с применением библиотеки OpenCV, включающие распознавание образов, сортировку изображений, получение интегрального изображения и его анализ. Предложенный способ позволяет автоматизированным образом оценивать степень искрения под сбегающим краем щетки отдельно для каждой коллекторной пластины. Оценка выполняется для достаточно большого числа периодов коммутации каждой щетки, что позволяет устранить статистическую погрешность, кроме этого автоматизация измерений уменьшает влияние человеческого фактора на результат испытаний.

Ключевые слова: коллекторные электрические машины, искрение, OpenCV, стробоскопический метод.

Failures of electric machine commutator are 10–15% of electric locomotive failures. At present, large number of methods to control the sparking degree of commutator plate is based on the measurement of various physical quantities. The article describes the method of the automated sparking degree analysis with the use of stroboscopic photo recording of sparking and the computer processing of photographic images of sparking plates for the purpose of obtaining of sparking degree for each collector plate. The methods of image processing by means of original software created with the application of OpenCV library are given here. Such methods include pattern identification, image classification, obtaining an integral image and its analysis. The proposed method allows estimating the sparking degree under the running off edge of a brush for each collector plate. The estimation is carried out for a large number of switching cycles for each brush that eliminates steady state error.

Key words: commutator machines, sparking, open CV, stroboscopic method.

Экспериментальная оценка устойчивости функционирования защит фидеров контактной сети тяговых подстанций Дальневосточной железной дороги

ПИНЧУКОВ П.С.

В статье приводятся результаты исследования условий функционирования защит фидеров контактной сети на участках железной дороги Дальневосточного региона России. Анализ статистических данных выявляет значительное количество срабатываний защит при отсутствии коротких замыканий. Для уточнения физической природы подобных явлений выполнены экспериментальные исследования причин излишних срабатываний защит фидеров контактной сети на трех тяговых подстанциях Дальневосточной железной дороги. Доказано, что только в ряде случаев большие токовые нагрузки, возникающие при движении тяжеловесных поездов, действительно являются причиной излишних срабатываний защит. Также экспериментально подтверждено, что в ряде случаев

движение тяжеловесных поездов не является причиной излишних срабатываний защит. Таким образом, вопреки существующему мнению движение тяжеловесных поездов не является единственной причиной излишних срабатываний релейных защит контактной сети. Обосновывается необходимость детализации и конкретизации причин и последствий в случае излишних срабатываний релейных защит.

Ключевые слова: устойчивость функционирования, защита фидера контактной сети, поезд повышенной массы, ложное срабатывание, угловая характеристика защиты.

The paper presents results of researching of functioning of overhead wires relay protection. The research was made for the railway on Far East region of Russia. The analysis of statistical data reveals a significant amount of relay protection's actions in the absence of short circuits. To clarify the physical nature of these phenomena are produced experimental researching into the causes of unnecessary protection's actions. Three traction substations of the Far Eastern Railway were included in experiment. It is proved that large current loads from driving heavy haul trains are indeed cause unnecessary relay protection's action only in some cases. It is also experimentally confirmed that in some cases the heavy haul trains is not the cause of unnecessary relay protection's action. Shows that contrary to prevailing opinion the heavy haul trains traffic are not single cause of unnecessary relay protection's action. In conclusion, it is shown that in each case the cause of the unnecessary relay protection's action is different. Therefore, detail and specification of reasons is required in each case.

Key words: sustainable functioning, feeder of overhead wires, heavy haul trains, false action, angular characteristics protection.

Определение критериев оценки качества электрического соединения

ИГНАТЕНКО И.В., ВЛАСЕНКО С.А.

Контактная сеть – нерезервируемое техническое сооружение электрифицированных железных дорог, которое должно обеспечивать бесперебойное электроснабжение подвижного состава. При отказе одного из элементов контактной сети может выйти из строя вся система, что приведет к длительным перерывам в работе железнодорожного транспорта. Около 20% всех повреждений контактной сети приходится на недопустимые превышения температур в узлах контактной подвески. В статье проанализированы различные нормативные показатели и выявлены сложности их применения для оценки состояния токопроводящего питающего зажима в эксплуатации. Существующие методы теплового контроля не могут дать достоверной оценки текущего состояния болтового электрического соединения. Для своевременного контроля состояния электрического контакта предлагается регистрировать нагрев электрического соединения, а в качестве показателя для автоматизированной оценки состояния электрического соединения использовать коэффициент дефектности по нагреву. Контроль временного интервала нагрева электрического соединения и анализ изменения зависимости коэффициента дефектности позволили выявить критерии оценки состояния электрического соединения (токопроводящего питающего зажима): характерная точка минимума, которая позволяет определить текущее состояние электрического соединения; значение угла γ , с помощью которого можно осуществлять прогноз состояния. Полученные критерии оценки состояния электрического соединения станут основой создания методики контроля качества электрического соединения.

Ключевые слова: электрическое соединение, болтовой зажим, показатели качества электрического соединения, критерий.

Contact system is nonredundant technical construction of electric railway line, which must provide uninterruptible electrical power supply for railway vehicles. The fault of any element can lead to the contact system fault. About 20% of contact system damages are caused by unacceptable temperature increase in the unit of overhead catenary. Normative indexes are analyzed in this paper to estimate the state of the terminal in operation. Existing method of thermal control doesn't allow estimating the heat state of electric bolted connection with required accuracy. The heating registration of electric connection is proposed. To estimate the state of the electrical connection the heating deficiency coefficient is selected. As a result criterions for estimation of electrical connection state are obtained that enable to make methodology of quality monitoring of electrical connection.

Key words: electrical connection, bolt clamp, indicators of quality electrical connection.

Аварийные процессы работы тиристорного выпрямителя электровоза переменного тока ВЛАСЬЕВСКИЙ С.В., МЕЛЬНИЧЕНКО О.В., МАЛЫШЕВА О.А.

Испытания электровоза серии ВЛ80Р на экспериментальном кольце показали, что отказ элементов системы управления приводит к отказу выпрямительноинверторного преобразователя (ВИП). В режиме тяги электровоза это может привести к авариям, вызванным нарушением работы плеч ВИП в отдельные полупериоды напряжения, выходу из строя отдельных тиристоров, увеличению пульсации выпрямленного тока, увеличению угла β , и как следствие, к снижению коэффициента мощности электровоза. Для сложной технической системой – электровоза – важно, чтобы выход из строя любого элемента или узла системы управления не приводил к повреждениям силовых цепей электровоза или возникновению аварийного режима, что могло бы нарушить бесперебойность движения поездов. Для достижения этой цели предложен алгоритм управления четырёхзонным выпрямителем на высших зонах регулирования с одновременным включением разрядного диодного плеча параллельно цепи выпрямленного тока. Показано, что такое управление улучшает потенциальные условия включения тиристоров, уменьшает длительность коммутации и эквивалентное индуктивное сопротивление цепи переменного тока, а также обеспечивает резервирование за счёт одновременного открытия параллельных плеч ВИП при пропуске импульсов управления на любой зоне регулирования.

Ключевые слова: электровоз, выпрямитель, алгоритм управления, одновременная коммутация.

In electric locomotive the failure of any element or unit of the control system doesn't have to cause damage of power circuits or emergency operation. Control strategy for 4zone ACDC power converter with discharge diode branch connected in parallel with rectified current circuit is proposed. Such control improves the switching conditions of thyristors, enables to reduce the switching time and decrease equivalent inductive reactance of AC circuit as well as ensures the reservation due to simultaneous switching of paralleled thyristor branches and skipping of control pulses in any zone of regulation.

Key words: electric locomotive, rectifier, control strategy, simultaneous switching.

Способ повышения энергетической эффективности электровоза переменного тока в режиме рекуперативного торможения

БУНЯЕВА Е.В., СКОРИК В.Г., ВЛАСЬЕВСКИЙ С.В., ФОКИН Д.С.

В статье предложен способ повышения коэффициента мощности электровоза переменного тока с коллекторными тяговыми двигателями в режиме рекуперативного торможения, основанный на совершенствовании алгоритма управления силовым преобразователем электровоза. В предлагаемом способе за счет новой организации коммутации тиристорных плеч инвертора происходит изменение кривой мгновенной мощности во время основной коммутации, за счет чего уменьшается часть периода, когда энергия направлена в электровоз. В связи с этим среднее значение мгновенной мощности увеличивается. Таким образом, при одних и тех же условиях движения электровоз возвращает в сеть большую долю энергии. Для подтверждения количественной оценки эффективности предлагаемого способа управления была разработана обобщенная математическая модель «тяговая подстанция – тяговая сеть – электровоз в режиме рекуперации». Эта модель состоит из взаимодействующих между собой частных моделей подстанции, участка тяговой сети, силового трансформатора электровоза, четырехзонного инвертора, системы управления выпрямительно-инверторным преобразователем и цепи постоянного тока. Реализация математической модели выполнена средствами пакета схемотехнического моделирования OrCAD. Анализ электромагнитных процессов в инверторе электровоза при различных условиях моделирования показал, что благодаря появлению дополнительной области в кривой id происходит повышение коэффициента мощности электровоза, т.е. повышение эффективности рекуперативного торможения.

Ключевые слова: электровоз переменного тока, инвертор, рекуперативное торможение, алгоритм управления, коэффициент мощности, качество электроэнергии.

A method of power factor improvement of AC locomotive with commutator motor operating in regeneration braking mode is proposed. The method improves the algorithm of control system of power converter. New switching method of inverter thyristors regulates curve of instantaneous power during the main switching. It allows reducing the part period when the energy flow passes to locomotive that lead to increase of average value of instantaneous power. Developed mathematical model «traction substation ♦ electric traction grid locomotive in regeneration braking mode» is presented to verify efficiency of the method. The model consists of several interacting electric power substations, section of electric traction grid, power transformer of locomotive, four zone inverter, control system of reversible converter and DC circuit. The model is realized in OrCAD software.

Key words: AC electric locomotive, inverter, recuperative braking, control algorithm, power factor, quality of electrical energy.

Определение термического разупрочнения контактного провода при электродуговом воздействии

ЛИ В.Н., КЛИМЕНКО С.В.

Основным устройством для передачи электрической энергии к электроподвижному составу является система контактного токосяема. Процесс взаимодействия токоприемника с контактным проводом не является непрерывным (время от времени происходит отрыв полоза токоприемника от контактного провода), в результате чего происходит образование искрение электрических дуг. Наиболее опасным является воздействие электрической дуги на ограниченный объем материала контактного провода, при котором он нагревается до значительных температур. При высокой температуре нагрева происходит отжиг (рекристаллизация) меди, при этом образуется мягкая (отожженная) медь. Такая медь имеет измененную внутреннюю структуру, что приводит к

снижению механических характеристик материала. В статье описана методика определения степени разупрочнения материала контактного провода при электродуговом воздействии на него, базирующаяся на предложенных критериях оценки. Приведен пример расчета для конкретных условий взаимодействия токоприемника с контактной подвеской. Предложенная методика позволяет определять степень разупрочнения контактного провода.

Ключевые слова: контактный провод, электрическая дуга, разупрочнение, тепловой износ, методика.

In case of loss of contact between bow collector and catenary the spark (or electric arc) is appeared. Influence of electric arc on the limited material volume of catenary is caused the heating to high temperature. This results in recrystallization annealing of copper that reduce mechanical characteristics. The article describes the technique of estimation degree softening with electric arc influence on overhead wire material based on proposed criterions. The specific example of calculation of interaction between pantograph and catenary is given.

Key words: contact wire, electric arc, softening, thermal wear, method.

Методика диагностирования выпрямительно-инверторных преобразователей электровозов переменного тока

БУЗМАКОВА Л.В., ВЛАСЬЕВСКИЙ С.В., ОВСЕЙЧИК С.З.

Отказы, возникающие в выпрямительно-инверторных преобразователях (ВИП) электровозов переменного тока, могут привести к авариям силового оборудования электровоза, и в зависимости от степени их тяжести перевести электровоз в различные состояния – от частичной потери работоспособности до полной остановки. В связи с этим важной задачей становится разработка (усовершенствование) диагностического обеспечения ВИП, а также выбор методики диагностирования, позволяющей выявлять дефекты ВИП не только в рабочем режиме, но и в стационарных условиях при проведении плановых и внеплановых ремонтов электровоза. Для повышения достоверности оценки технического состояния ВИП необходим функциональный контроль, осуществляющий проверку взаимодействия элементов преобразователя между собой. Также при диагностировании важно иметь возможность изменения входных воздействий, подаваемых на вход преобразователя в зависимости от результатов очередной проверки для уточнения диагноза и поиска неисправности. С помощью стационарной автоматизированной системы диагностирования, позволяющей определять техническое состояние ВИП (в режиме выпрямителя) в условиях стационара предполагается проводить испытания ВИП при имитации рабочих воздействий. На данном этапе разработки система диагностирования позволяет оценивать работоспособность и правильность реализации алгоритма управления ВИП во всех четырех зонах регулирования, а также выявлять обрыв плеч ВИП. Предлагаемая методика определения обрыва плеч в совокупности с алгоритмом диагностирования ВИП позволяет провести проверку работоспособности и поиск указанного дефекта, а также проверить правильность функционирования ВИП, наблюдая работу всего преобразователя в целом как единого объекта диагностирования, до установки его на локомотив. Это, в свою очередь, сократит время постановки диагноза, улучшая его достоверность, а также позволит практически исключить эксплуатацию ВИП с невыявленными дефектами.

Ключевые слова: электровоз, выпрямительно-инверторный преобразователь, техническая диагностика, система управления, методы диагностирования.

Fault of reversible converter can cause failure of AC locomotive power equipment. In this case important target is enhancement of diagnostic device and choice of fault diagnostic technique that detect defects of the converter in operating mode and during scheduled and off schedule repairs. To improve the estimation accuracy of the converter technical state the functional testing of interaction of converter elements. This article considers the method of diagnostic of reversible converter for AC locomotive which allows to test control algorithms of the converter in four zone regulation and to detect break of converter leg.

Key words: electric locomotive, power converter, technical diagnostics, control system, methods for diagnostics

Применение системы экстремального регулирования для управления компенсатором реактивной мощности электровоза

КУЛИНИЧ Ю.М., ШУХАРЕВ С.А.

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов является приоритетным направлением в принятой ОАО «РЖД» энергетической стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 г. В настоящее время основную часть эксплуатируемого парка составляют электровозы переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями, имеющими коэффициент мощности в пределах от 0,65 до 0,85. В этом – причина не только значительных потерь энергии в сети тягового электроснабжения, но и ограничений, влияющих на скорость движения локомотива. Повышение энергетических показателей электровозов переменного тока возможно за счёт компенсации реактивной составляющей потребляемой мощности. Компенсатор реактивной мощности состоит из последовательно соединенных конденсатора C и индуктивности L , подключаемых к вторичной обмотке трансформатора. Параметры LC-цепи рассчитываются из условия компенсации реактивной мощности электровоза в номинальном режиме работы. В статье рассмотрено устройство для компенсации реактивной мощности электровоза, выполненного на базе регулируемого пассивного компенсатора. Управление компенсатором осуществляется методом экстремального регулирования. Показано, что метод экстремального регулирования, который для компенсатора реактивной мощности не предусматривает непосредственного вычисления реактивной мощности электровоза, существенно упрощает структуру управления компенсатором реактивной мощности.

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

The compensator consists of sequential coupled capacitor and inductance connected to transformer secondary winding. The calculation of LC-circuit parameters is based on the condition of locomotive reactive power compensation in nominal operation rating. Control system of the compensator is realized by extremal control. This method of control simplifies control system structure of the compensator.

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

Способ перемещения ферромагнитных тел внутри цилиндрической поверхности

ЮЩЕНКО Л.В.

Рассматриваются теоретические основы перемещения магнитного поля внутри неподвижных объектов, например, внутри цилиндрической поверхности. Принимается

цилиндрическая поверхность в виде диэлектрической втулки. С внешней стороны на втулке размещаются три (или числом, кратным трем) катушки, к которым подводится трехфазное напряжение через полупроводниковые диоды. Катушки по очереди создают внутри втулки магнитное поле со сдвигом во времени и в пространстве. Магнитное поле сцепляется с ферромагнитным телом определенных размеров, помещенным внутри втулки и перемещает его. Предложенный способ перемещения ферромагнитных тел внутри цилиндрической поверхности можно использовать для обработки поверхностного слоя деталей дробью после устранения эффекта торможения движения дроби на завершающем этапе перемещения. Предложенная модель магнитного двигателя также может быть востребована там, где требуется низкая угловая скорость вращения механизмов или рабочих машин.

Ключевые слова: трёхфазное напряжение, полупроводниковые диоды, диэлектрическая втулка, обмотки, concentрическое магнитное поле, перемещение ферромагнитного тела.

Theory of magnetic field propulsion inside immovable objects, e.g. hollow cylinder, is discussed. A dielectric cylindrical cartridge is used. On the outside of the cartridge three (or multiple of three) coils are placed and supplied by three-phase voltage source with series diodes. Coils sequentially generate magnetic field shifted in time and space inside the cartridge. Magnetic field is coupled with ferromagnetic body of defined size inside the cartridge and it starts to move. Proposed technique can be used to surface treatment by shot as well as machines with low rate of rotation.

Key words: three phase voltage; semiconductor diodes; dielectric cartridge; coils; concentric magnetic field; propulsion of ferromagnetic body.

Исследование и разработка способа преобразования постоянного напряжения в квазисинусоидальное с широтно-импульсной модуляцией

ГУЛЯЕВ А.В., ФОКИН Д.С., ТЕН Е.Е., СКОРИК В.Г., ШУХАРЕВ С.А.

Практически все частотно-регулируемые электроприводы переменного тока с автономными инверторами напряжения (АИН), повсеместно применяемые в настоящее время, реализуют широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) по одному из трех способов: синусоидальному, векторному или релейно-векторному. Для реализации релейно-векторной ШИМ требуются аналогово-цифровые преобразователи (АЦП) с высокой разрешающей способностью и высокой частотой дискретизации. У векторной ШИМ форма выходного напряжения имеет несинусоидальный вид, что вызывает дополнительные потери в двигателе. У симметричной (центрированной) синусоидальной ШИМ основной проблемой является недоиспользование звена постоянного тока. Долгое время метод векторной ШИМ считался наиболее перспективным, так как он не имеет этого недостатка. На практике данный способ используется в тех областях, где нет жесткого критерия синусоидальности напряжения, поэтому его применение ограничено. Кроме того, из-за наличия другой существенной проблемы – «мертвого» времени на границах секторов при использовании векторной ШИМ, с развитием цифровых микропроцессорных систем получили широкое распространение различные модифицированные способы построения синусоидальной ШИМ, которые стали чаще применяться в современных системах управления асинхронным электроприводом. Для определения качества различных типов ШИМ была разработана комплексная модель электропривода, включающая в себя систему управления инвертором, реализующую различные алгоритмы построения дискретных сигналов ШИМ. Модель выполнена в среде программирования LabVIEW, электрическая схема – в пакете NI Multisim. Полученные в

результате моделирования данные могут быть использованы для выбора оптимального способа управления АИН. Проведенный анализ позволяет определить лучший способ ЧШИМ по результатам исследования качества электроэнергии и механических характеристик.

Ключевые слова: инвертор, ШИМ, несинусоидальность.

Auxiliary machines of electric trains provide an operation of traction motors, electrical and pneumatic equipment. The impact of the supply voltage on the operation of auxiliary machines is considered. With nominal voltage of overhead contact system and operable phase-shifting transformer device the motor unbalance current is observed. During operation the abnormal operating modes occur that leads to increase of auxiliary equipment faults. The using of autonomous inverter with balanced sinusoidal output voltage and microprocessor based control improves the reliability of induction motor drive. Proportional regulation of rotation frequency of blower motor reduces the power consumption.

Key words: subsidiary machines, capacitance of the capacitor bank, current unbalance.

Моделирование работы системы вспомогательных машин электровоза 2(3)ЭС5К

ГУЛЯЕВ А.В., ТЕН Е.Е., ФОКИН Д.С., ШУХАРЕВ С.А.

Вспомогательные машины на электроподвижном составе обеспечивают работу тяговых электродвигателей, электрической и пневматической аппаратуры. Важным условием безопасной работы асинхронного электропривода вспомогательных машин является соблюдение режима работы электродвигателя в соответствии с основными техническими данными, согласно которым электродвигателям НВА55 соответствует номинальный режим работы S1 (продолжительный). В статье рассматривается влияние питающего напряжения на работу вспомогательных машин электровоза. Вспомогательные машины на электроподвижном составе переменного тока работают в неблагоприятных условиях. Даже при номинальном напряжении контактной сети и исправных фазосдвигающих устройствах наблюдается несимметрия токов двигателя. В условиях эксплуатации напряжение в контактном проводе непостоянно, и не все режимы оборудования полностью соответствуют номинальным, что и приводит к значительному числу отказов вспомогательного оборудования. В связи с этим необходима микропроцессорная система управления для реализации регулируемого вспомогательного электропривода. Установка индивидуального автономного инвертора, формирующего полностью симметричное и синусоидальное напряжение, позволит увеличить надежность асинхронного электропривода, а пропорциональное управление частотой вращения мотор-вентиляторов снизит расход электроэнергии.

Ключевые слова: вспомогательные машины, ёмкость конденсаторной батареи, несимметрия токов.

Auxiliary machines of electric trains provide an operation of traction motors, electrical and pneumatic equipment. The impact of the supply voltage on the operation of auxiliary machines is considered. With nominal voltage of overhead contact system and operable phaseshifting transformer device the motor unbalance current is observed. During operation the abnormal operating modes occur that leads to increase of auxiliary equipment faults. The using of autonomous inverter with balanced sinusoidal output voltage and microprocessor based control improves the reliability of induction motor drive. Proportional regulation of rotation frequency of blower motor reduces the power consumption.

Key words: subsidiary machines, capacitance of the capacitor bank, current unbalance.

К методике определения оптимального потребления электрической энергии из тяговой сети

ЛИ В.Н., ШУРОВА Н.К.

Железнодорожный транспорт является одной из наиболее энергоемких отраслей. С ростом объемов перевозок возрастает необходимость в снижении энергозатрат и оптимизации системы тягового электроснабжения. Это возможно с помощью компенсации реактивной мощности, одновременно позволяющей снизить потребление реактивной энергии из питающей энергосистемы. Известные методики расчета систем тягового электроснабжения не решают задачу оптимального потребления электрической энергии из внешней сети. В статье представлен алгоритм выбора мест установки и мощности компенсирующих устройств в тяговой сети в условиях роста грузооборота с учетом неопределенности исходных данных. Обозначены подходы к определению оптимального потребления электрической энергии тяговыми нагрузками из питающей энергосистемы. Реализация поставленной цели может быть осуществлена путем решения следующих задач: выбора методики прогнозирования электропотребления (ЭП) тяговой нагрузкой при росте грузооборота; расчета необходимого усиления тягового электроснабжения применением КУ для обеспечения роста грузооборота; нахождения критерия оптимальности управления потоками реактивной мощности. В связи с этим необходима разработка методики корректировки потребной мощности и мест установки КУ в тяговой сети. Предложенная методика была проверена на примере тяговой подстанции Хабаровск-II Дальневосточной железной дороги. По результатам расчетов получено, что потребление реактивной энергии к 2030 г. составит 200728 Мвар·ч, что потребует установить на подстанции компенсирующее устройство мощностью 18 Мвар.

Ключевые слова: электроснабжение, интервальная регрессия, прогнозирование, реактивная энергия, неопределенность, компенсация.

The reactive power compensation in traction power supply system reduces cost of transfers and reactive power consumption. Existing design methods of traction power supply system insufficiently solve a problem of optimal power consumption from external power system. In conditions of freight turnover grow and initial data uncertainty the algorithm of choice of compensators power level and its placement location in traction power supply system is presented. The purpose of optimal power consumption is realized by the choice of technique of power consumption prediction considering freight turnover grow, the calculation of increase of traction power supply using compensators, and the search of optimality criterion for control of reactive power flows. The proposed method is verified by the concrete example of traction substation.

Key words: powersupply, interval regression, forecasting, reactive power, uncertainty, compensation.

Повышение срока службы изоляции обмоток силовых трансформаторов при реконструкции тяговых подстанций переменного тока 25 кВ

ГРИГОРЬЕВ Н.П., ВОПРИКОВ А.В., ПАРФИАНОВИЧ А.П.

Модернизация и обновление тягового электроснабжения относятся к приоритетным задачам развития железнодорожной энергетики. Стратегия развития железнодорожного

транспорта России предусматривает модернизацию оборудования хозяйства электроснабжения, в том числе реконструкцию 763 тяговых подстанций при высокой потребности в финансировании. Основным и наиболее дорогостоящим оборудованием тяговых подстанций являются силовые трансформаторы, стоимость которых составляет более 50% стоимости оборудования подстанции. В статье описаны мероприятия, направленные на повышение срока службы силовых трансформаторов при реконструкции тяговых подстанций переменного тока. Реконструкция подстанций предусматривает внедрение современной техники и технологий. Решение по замене или дальнейшей эксплуатации действующих силовых трансформаторов подстанций прежде всего принимается на основании данных о фактическом состоянии трансформаторов. Для силовых трансформаторов тяговых подстанций переменного тока 25 кВ характерна высокая несимметрия токов обмоток. Модуль тока наиболее нагруженной обмотки может превышать ток других обмоток в два раза, при этом мощность потерь в обмотках различается в четыре раза. В статье рассмотрены особенности состояния силовых трансформаторов трех тяговых подстанций магистральной железной дороги. Качественно определен срок службы трансформаторов по износу изоляции обмоток. Повышение срока службы обеспечивается новыми схемами подключения трансформаторов к распределительным устройствам. Обмотка с максимальным износом изоляции трансформатора идентифицируется по расходу электроэнергии. Для повышения срока службы силовых трансформаторов обмотки с максимальным износом изоляции должны быть подключены к нейтральным вставкам тяговой сети.

Ключевые слова: тяговые подстанции, силовые трансформаторы, реконструкция, эксплуатационный ресурс, износ изоляции обмоток, схемы питания тяговой сети.

Modernization and renewal of traction power supply are foreground tasks in development of railway power engineering. Development strategy of railway transport in Russia provides the updating of power supply equipment including reconstruction of 763 traction substations. Cost of power transformers is more than 50% cost of all substation equipment. Arrangements for increase of life duration of power transformers during reconstruction of AC traction substations are formulated. 25kV power transformers of traction substations operate with high unbalance current of windings. In this case current of the most loaded winding can have double magnitude of currents in other windings, and loss power of windings differs in four times. Qualitative analysis of transformer life duration according to insulation wear for three traction substations is presented. The winding with maximum insulation wear is evaluated by power consumption. In order to extend the life duration these windings need to be connected to the neutral links of traction substation.

Key words: power transformers, reconstruction traction substations, operating life, insulation deterioration of the windings, traction power supply circuit.

Оценка пропускной способности линии 500кВ с устройствами гибких электропередач

ИГНАТЕНКО И.В., КОНСТАНТИНОВ А.М., ДЕМИНА Л.С.

Гидроэлектростанции (ГЭС), расположенные в Амурской области, значительно удалены от крупных потребителей Хабаровского и Приморского краев, что вызывает необходимость поддержания необходимого уровня напряжения в линиях электропередачи 500 кВ и повышения её пропускной способности. В статье рассмотрены возможности повышения пропускной способности протяженных линий 500 кВ при достаточном удалении потребителя от источника посредством установки устройств компенсации реактивной мощности. Одно из современных направлений развития систем корректирования

электрических параметров сети – технологии гибких систем электропередач (ГЭП), принцип работы которых заключается в регулировании реактивной мощности под нужды режима электрической системы. К наиболее распространенным технологиям ГЭП относятся управляемые шунтирующие реакторы (УШР), статические тиристорные компенсаторы (СТК) и статические компенсаторы реактивной мощности (СТАТКОМ). Выполнена сравнительная оценка влияния таких устройств на пропускную способность линии. Сравнение угловых характеристик мощности энергосистемы при учете зарядной мощности линии 500 кВ и применении УШР и СТАТКОМ показало, что применение статического компенсатора позволяет увеличить пропускную способность, а коэффициент запаса статической устойчивости достигает 30,48.

Ключевые слова: энергосистема, линия 500 кВ, пропускная способность, устройство компенсации реактивной мощности, коэффициент запаса, устойчивость

Hydroelectric power stations on Far East (in Russia) are located far from power consumers. The paper considers improving of transmission capacity for 500 kV power lines using reactive power compensation devices. This approach is realized by technology of flexible alternating current transmission system (FACTS). It is performed comparative evaluation of transmission capacity effect of such FACTS devices as controlled shunt reactor, thyristor controlled reactor and static compensator (STATCOM).

Key words: electric power system, the lines 500 kV, capacity of device for reactive power compensation, safety factor, stable resistance

Автоматизированная система мониторинга как инструмент бережливого производства системы тягового электроснабжения

МАКАШЁВА С.И.

Рассмотрены вопросы использования системы автоматизированного мониторинга для внедрения принципов бережливого производства в системе тягового электроснабжения железных дорог России. В результате анализа эффективности работы существующих систем мониторинга за состоянием объектов инфраструктуры железных дорог с точки зрения принципов бережливого производства выявлены неиспользуемые возможности систем мониторинга, которые предлагается реализовать самостоятельно или в комплексе с другими компонентами. Доказывается эффективность применения предлагаемых решений за счёт сокращения времени на проведение ремонтных работ, увеличения межремонтных сроков, повышения надежности системы тягового электроснабжения и рационализации рабочего время обслуживающего персонала. Обосновывается необходимость сочетания принципов бережливого производства не только с информационными системами мониторинга, но и с другими современными управленческими подходами и практиками. Применение технологий бережливого производства позволит сократить время на проведение ремонтных работ, увеличить межремонтные сроки, повысить надежность системы тягового электроснабжения, рационализировать рабочее время обслуживающего персонала. Можно ожидать, что это приведет к значительному уменьшению объема ремонтных работ (исключит ремонт бездефектных узлов) и увеличению межремонтного срока. Как результат, бережливое производство позволит органично использовать не только информационные системы мониторинга, но и другие современные управленческие подходы и практики.

Ключевые слова: бережливое производство, автоматизированная система мониторинга, система тягового электроснабжения, тяговая подстанция

The automated monitoring system for implementation of lean production's principles in the traction power supply of Russian railways is considered. Effectiveness of the existing systems of monitoring of railway infrastructure from the point of view of lean production's principles was analyzed. Unused possibilities of monitoring systems are identified. These possibilities offered to implement in the future to on their own or in combination with other components. Proved the effectiveness of the proposed solutions by reducing the time for repairs, increasing the reserve maintenance periods, increasing the traction power supply's reliability and rationalization of staff's working time. Showed of combining the principles of lean manufacturing, not only with the information systems of monitoring, but also with other modern management approaches and practices.

Key words: lean production, automated monitoring system, traction power system, traction substation.

Синхронные фазовые измерения в автоматизированной системе мониторинга хозяйства электроснабжения железных дорог

ТРЯПКИН Е.Ю., КЕЙНО М.Ю., ПРОТАСОВ Ф.А.

Рост грузопотоков к портам и пограничным переходам Дальнего Востока ставит перед железными дорогами Восточного региона России задачи по существенному повышению пропускной и провозной способности. На перевальных участках поезда массой 6300 т проходят с тягой из четырехсекционных локомотивов в голове и хвосте состава. Таким образом, суммарная мощность локомотивов только одного поезда при движении по критическому подъему, достигает 29 МВт. Реализация локомотивами на этих участках полной мощности в режимах тяги и рекуперативного торможения предъявляет высокие требования к системе тягового электроснабжения. Автоматизированная система мониторинга (АСМ) тяговых подстанций за несколько лет эксплуатации позволила накопить уникальную статистическую базу для анализа режимов работы системы тягового электроснабжения в различных условиях пропуска поездов и плотности движения составов. Объем измеряемых данных системы мониторинга включает все присоединения, имеющие трансформаторы тока и напряжения. Система мониторинга электрических параметров локомотива синхронизирована и будет модифицирована для работы по стандарту PMU. Таким образом, сложный электрифицируемый участок будет иметь наиболее полный объем измерений для исследования работы инфраструктуры при пропуске тяжеловесных поездов. Непрерывные измерения позволят оперативно отстроить устройства защиты от возрастающих нагрузок, дать оценку влияния уравнивающего тока на работу защит и потери энергии в элементах системы, а также позволит оценить необходимость применения технологии гибких сетей в хозяйстве электроснабжения. Математическая модель СТЭ, основанная на измерениях в АСМ, позволит контролировать большее количество электрических параметров ее элементов, оперативно определяя быстро деградирующие и отличные от нормальных.

Ключевые слова: автоматизированная система мониторинга, устройства тягового электроснабжения, системы сбора данных, синхронные фазовые измерения, PMU.

In order to pass mountainous terrain by train with 6300 tone mass the traction of foursectional locomotive in head and tail is used. In case of extreme lift the total power of locomotives reaches 29 MW. Traction power supply system should provide the maximum power of locomotives in traction mode and regenerative braking. Automated monitoring system of

traction substation has enabled to accumulate the unique statistical data for several years that make it possible to analyze different modes of traction power supply system corresponding to train operation. The monitoring system records the currents and voltages of all measuring transformers and this data is synchronized. It is planned to update the system for work with PMU standard. Continuous measurements enable to tune out the load protective devices quickly, estimate the effect of circulating current on the protection operation and power loss in system elements, and assess the necessity of flexible alternating current transmission system (FACTS) technologies using. Measurements based mathematical model of traction power supply system enables to control more number of electrical parameters of the system.

Key words: automated monitoring system, traction power supply systems, data acquisition systems, phasor measurement unit (PMU).

Повышение энергоэффективности системы тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ

ГРИГОРЬЕВ Н.П., КЛЫКОВ М.С., ПАРФИАНОВИЧ А.П., ШЕСТУХИНА В.И.

Приоритетное направление повышения энергоэффективности электрифицированных железных дорог – снижение энергоемкости перевозочного процесса и расхода электрической энергии на тягу поездов. Особенностью работы системы тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ является резко переменная однофазная нагрузка поездов, которая приводит к изменению напряжения на шинах подстанций, токоприемнике поездов и увеличению потерь электроэнергии. Правила устройства систем тягового электроснабжения для выполнения графика движения поездов нормируют напряжение на шинах подстанций и токоприемнике поездов не более 29 и не менее 21 кВ. В статье выполнен анализ работы системы тягового электроснабжения и определены мероприятия, направленные на повышение технико-экономических показателей железных дорог переменного тока 25 кВ. Предложено новое понятие «нормальные схемы питания тяговых нагрузок», которые синтезируются на основе имитационного моделирования. Анализ структуры небаланса электроэнергии и напряжения в тяговой сети позволяет определить мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности. Точность исходных данных определяется сравнением прогнозного и исполненного графиков движения поездов и графиков электрических нагрузок. Точность моделирования определяется сравнением прогнозных потерь электроэнергии и напряжения с результатами мониторинга.

Ключевые слова: тяговое электроснабжение, небаланс электроэнергии, напряжение тяговой сети, нормальные схемы, график движения поездов.

Strongly variable 1phase train load in 25 kV AC traction power supply system leads to the increase of power losses as well as the changing of substation and pantograph voltages. Operation analysis of traction power supply system is performed, and arrangements for enhancement of engineering and economical performance of traction power supply system are determined. “Normal power supply circuits of traction loads” is proposed. These circuits are designed by simulation modeling. The power and voltage unbalance structure in the traction system is analyzed that enables to assign the required arrangements. The initial data accuracy is identified by comparison of expected and real train schedules as well as electric load curves. The simulation accuracy is identified by comparison of expected power and voltage losses with monitoring results.

Key words: traction power supply, power losses, voltage in the traction network, normal circuits of traction loads, train schedule.

Измерения тока якоря на щеточно-коллекторном узле электрической машины постоянного тока в период его коммутации

ТРОШИН И.А.

Условия эксплуатации локомотивов определяют особые требования к техническому состоянию отдельных узлов и агрегатов. Тяговые электродвигатели постоянного тока являются наиболее нагруженными и уязвимыми объектами в части работы щеточно-коллекторного узла и его влияния на процессы коммутации в машине. Анализ влияния работы щеточно-коллекторного узла на коммутацию электрических машин постоянного тока показывает, что способ оценки состояния коммутационного узла электрической машины, основанный на применении разрезной щетки в щеточно-коллекторном узле машины является малоинформативным по отношению к процессу коммутации. В статье предпринята попытка измерить ток коммутации в закороченной секции обмотки якоря в период коммутации с помощью двух частей разрезной щетки и соответствующей измерительной схемы. Создан стенд для экспериментального исследования процессов коммутации в машине постоянного тока, который позволил получить описание переходных процессов в щеточно-коллекторном узле машины постоянного тока при использовании щетки состоящей из двух частей. Получено распределение тока в короткозамкнутом витке и отдельных частях щетки. Изложен метод измерения тока якоря на щеточно-коллекторном узле электрической машины постоянного тока в период его коммутации, приведены измерительная схема и результаты экспериментов в виде осциллограмм характеристик реального двигателя.

Ключевые слова: электродвигатель постоянного тока, коммутация, диагностирование, оценка искрения.

Heavy conditions of locomotive exploitation lead to special technical state requirements of separate units and aggregates. It is especially important for DC traction motor because of commutation problems. Analysis of brush collector unit effect shows that split type brush based method for technical state estimation is not sufficiently informative about commutation process. Current measurement of short circuited section of armature winding during the commutating period by means of two parts of split type brush and proper measurement scheme is proposed. Experimental stand for DC motor commutation process research is designed. Distribution current in short circuited coil and separate parts of brush is obtained. Measurement scheme and experimental results for real motor are proposed.

Key words: ac-drive, switching, diagnosing, sparking assessment.

Авторы опубликованных статей

Бузмакова Лилия Витальевна – доцент ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ДВГУПС), канд. техн. наук. Окончила ДВГУПС в 2003 г. В 2012 г. защитила диссертацию по теме «Система послеремонтного диагностирования выпрямительно-инверторных преобразователей электровозов переменного тока в локомотивном депо».

Буняева Екатерина Викторовна – доцент ДВГУПС, канд. техн. наук, окончила ДВГУПС в 2004 г. В 2013 г. защитила диссертацию по теме «Повышение энергетической эффективности рекуперативного торможения электровозов переменного тока».

Власенко Сергей Анатольевич – старший преподаватель ДВГУПС. Окончил ДВГУПС в 2005 г.

Власьевский Станислав Васильевич – профессор ДВГУПС. Окончил Хабаровский институт инженеров железнодорожного транспорта в 1966 г. В 2001 г. защитил диссертацию по теме «Повышение эффективности выпрямительно-инверторных преобразователей электровозов однофазно-постоянного тока с рекуперативным торможением».

Воприков Антон Владимирович – аспирант ДВГУПС. Окончил ДВГУПС в 2012 г.

Григорьев Николай Потапович – профессор ДВГУПС, канд. техн. наук. Окончил Хабаровский институт инженеров железнодорожного транспорта в 1977 г. В 1985 г. защитил диссертацию по теме «Методы снижения транзита мощности по тяговой сети переменного тока».

Гуляев Александр Викторович – ведущий инженер ООО «Управляемая Энергия». Окончил ДВГУПС в 2012 г.

Демина Людмила Сергеевна – заместитель директора Электроэнергетического института ДВГУПС. Окончила ДВГУПС в 2009 г.

Игнатенко Иван Владимирович – заведующий кафедрой ДВГУПС, канд. техн. наук. Окончил ДВГУПС в 2006 г. В 2009 г. защитил диссертацию по теме «Повышение эксплуатационной надежности токопроводящих зажимов контактной сети электрифицированных железных дорог».

Кейно Максим Юрьевич – старший преподаватель ДВГУПС. Окончил ДВГУПС в 1993 г.

Клименко Сергей Викторович – аспирант ДВГУПС. Окончил ДВГУПС в 2013 г.

Клыков Михаил Степанович – профессор ДВГУПС, канд. техн. наук. В 1970 г. окончил Хабаровский институт инженеров железнодорожного транспорта. В 1976 г. защитил диссертацию по теме «Исследование и совершенствование оперативного планирования материального обеспечения транспортных строительных организаций».

Константинов Андрей Михайлович – доцент ДВГУПС, канд. техн. наук. Окончил Якутский государственный университет в 2004 г. В 2008 г. защитил диссертацию по теме «Трёхфазный компенсатор отклонений напряжения и реактивной мощности с однофазным звеном повышенной частоты для трансформаторных подстанций»

Кулинич Юрий Михайлович – профессор ДВГУПС, доктор техн. наук. Окончил Хабаровский институт инженеров железнодорожного транспорта в 1977 г. В 2002 г. защитил докторскую диссертацию по теме «Повышение качества электроэнергии, потребляемой электровозом однофазно-постоянного тока, на основе применения гибридного компенсатора реактивной мощности».

Ли Валерий Николаевич – профессор ДВГУПС, доктор техн. наук. Окончил Хабаровский институт инженеров железнодорожного транспорта в 1970 г. В 2008 г. защитил докторскую диссертацию по теме «Совершенствование методов и средств

неразрушающего контроля элементов контактной сети и токоприемников электроподвижного состава электрифицированных железных дорог».

Макашёва Светлана Игоревна – доцент ДВГУПС, канд. техн. наук. Окончила ДВГУПС в 1997 г. В 2002 г. защитила диссертацию по теме «Влияние рекуперативного торможения на качество электрической энергии по напряжению и эффективность работы системы тягового электроснабжения»

Малышева Ольга Александровна – заведующая кафедрой ДВГУПС, канд. техн. наук. Окончила ДВГУПС в 2005 г. В 2008 г. защитила диссертацию по теме «Внутрисистемный учет электрической энергии и контроль ее качества на электровозах переменного тока».

Мельниченко Олег Валерьевич – заведующий кафедрой Иркутского государственного университета путей сообщения», канд. техн. наук. Окончил Иркутский институт инженеров транспорта в 1999 г. В 2005 г. защитил диссертацию по теме «Повышение энергетических показателей электровозов однофазно-постоянного тока с тиристорными выпрямителями».

Мионов Антон Анатольевич – преподаватель ДВГУПС. Окончил ДВГУПС в 2012 г.

Овсейчик Сергей Здиславович – доцент Забайкальского института железнодорожного транспорта, канд. техн. наук. Окончил Хабаровский институт железнодорожного транспорта в 1985 г. В 2003 г. защитил диссертацию по теме «Использование электромеханического процесса пуска тягового электродвигателя для контроля положения щеток на геометрической нейтрали».

Парфианович Арсений Петрович – аспирант ДВГУПС. Окончил ДВГУПС в 2012 г.

Пинчуков Павел Сергеевич – доцент ДВГУПС, канд. техн. наук. Окончил ДВГУПС в 1999 г. В 2004 г. защитил диссертацию по теме «Комплексы релейных защит систем внешнего и тягового электроснабжения».

Протасов Федор Анатольевич – технический представитель «National Instruments» в СФО и ДВФО. Окончил ДВГУПС в 2010 г.

Сайфутдинов Ринат Хасанович – доцент ДВГУПС, канд. техн. наук. Окончил Хабаровский институт инженеров железнодорожного транспорта в 1982 г. В 1989 г. защитил диссертацию по теме «Обеспечение коммутационной устойчивости электрических машин малой мощности без дополнительных полюсов с углеродными коллекторами».

Скорик Виталий Геннадьевич – доцент ДВГУПС, канд. техн. наук. Окончил ДВГУПС в 2003 г. В 2009 г. защитил диссертацию по теме «Снижение влияния электровозов переменного тока с плавным регулированием напряжения на качество электрической энергии в контактной сети».

Тен Евгений Енгунович – доцент ДВГУПС, канд. техн. наук. Окончил ДВГУПС. В 2012 г. защитил диссертацию по теме «Диагностика колесных пар подвижного состава с помощью весоизмерительной системы».

Трошин Иван Андреевич – инженер ДВГУПС. Окончил Тихоокеанский государственный университет в 2010 г.

Тряпкин Евгений Юрьевич – старший преподаватель ДВГУПС. Окончил ДВГУПС в 2007 г.

Фокин Дмитрий Сергеевич – доцент ДВГУПС, канд. техн. наук. Окончил Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет в 2005 г. В 2012 г. защитил диссертацию по теме «Повышение коэффициента мощности электровозов переменного тока в режиме рекуперативного торможения».

Шестухина Валентина Ивановна – доцент ДВГУПС, канд. пед. наук. Окончила Хабаровский институт инженеров железнодорожного транспорта в 1974 г. В 2007 г. защитила диссертацию по теме «Моделирование системы обучения информационным технологиям в техническом вузе».

Шурова Наталья Константиновна – аспирант ДВГУПС. Окончила ДВГУПС в 2014 г.

Шухарев Сергей Анатольевич – аспирант ДВГУПС. Окончил ДВГУПС в 2015 г.

Ющенко Леонид Владимирович – доцент ДВГУПС, канд. техн. наук. Окончил Хабаровский институт инженеров железнодорожного транспорта в 1972 г. В 1978 г. защитил диссертацию по теме «Исследование и настройка коммутации электрических машин прокатных станов в эксплуатационных условиях».