

Электротехника, 2017, №9, стр. 2

К истории электрификации транспорта

ЛЁВИН Б.А., ОВЧАРОВ И.В., ШЛЁКИН С.И.

Электротехника, 2017, №9, стр.3-8

Энергоэффективные алгоритмы оценки работы рельсовых цепей

БЕСТЕМЬЯНОВ П.Ф.

Выполнена оценка напряжения в рельсовой цепи для надежного обнаружения подвижной единицы или поезда на участке железнодорожного пути. Предлагается использовать структуры системы автоматической блокировки на основе временного разделения каналов опроса состояния рельсовых цепей с последующей обработкой сигналов по двум параметрам. Первый параметр включает в себя оценку соответствия кодовых сигналов переданных в рельсовую цепь и принятых из рельсовой цепи. Второй параметр получен на основе анализа напряжения на выходе рельсовой цепи в текущий и предыдущий моменты измерения с учетом скорости изменения напряжения. Последний параметр позволяет надежно различать состояние, когда рельсовая линия занята поездом, от случайных изменений параметров рельсовой цепи от воздействия внешних факторов. Предложенные алгоритмы позволяют значительно снизить затраты электрической энергии, обеспечивающей работу рельсовых цепей.

Ключевые слова: рельсовая цепь, аналого-цифровой преобразователь, оценка состояния, шунтовой режим работы, нормальный режим работы.

The article presents the results of a study on the evaluation of the voltage in the track circuit for reliable detection of the mobile unit or train on a stretch of railway track. It is proposed to use the structure of the signaling system based on time division channels of status of track circuits with subsequent signal processing the two parameters. The first parameter includes evaluating compliance with code signals transmitted to the rail circuit and received from the track circuit. The second parameter is obtained based on the analysis of the output voltage of track circuit in the current and previous measurements, taking into account the rate of change of voltage. The last parameter can reliably distinguish between occupation of a rail line by train from accidental changes in the parameters of track circuit as a result of the influence of external disturbing factors. Proposed in the paper algorithms significantly reduce the cost of electric power, ensuring

operation of rail circuits.

Keywords: rail circuit, analog-to-digital converter, assessment, shunt mode, the normal mode of operation.

Электротехника, 2017, №9, стр. 9-13

Применение эталонной модели поезда в системе автоматического управления скоростью грузового поезда

ПУДОВИКОВ О.Е., БЕСПАЛЬКО С.В., КИСЕЛЕВ М.Д., СЕРДОБИНЦЕВ Е.В.

Один из способов повышения качества управления систем автоматического управления скоростью движения грузовых поездов - использование эталонной модели поезда в САУ для учёта динамических процессов, происходящих в поезде. На основе этой информации система функционирует таким образом, чтобы выполнить требования к качеству управления скоростью движения в соответствии с принятой системой критериев. Однако использование сложной эталонной модели понижает параметры быстродействия САУ. Для повышения быстродействия можно упростить модель, тем самым понизив порядок системы дифференциальных уравнений, описывающих поезд как объект управления. Выполненные исследования позволили оценить допустимую степень упрощения модели, которая не вызывает значительного снижения точности расчётов.

Ключевые слова: грузовой поезд, эталонная модель, система автоматического управления, устойчивость.

The approach of improvement of control quality of ACS of speed of heavy freight trains is using of reference model of train inside the ACS for the calculation of dynamic processes in train. Build on the calculation, the system functions so that to observe requirements to quality of speed control according to the accepted system of criteria. Use of difficult reference mode, however, lowers the calculations speed of microprocessor system. For increasing of speed it is possible to simplify the model, thereby lowering the degree of order of difference equation system describing the train as controlled object. The executed researches have allowed to estimate the admissible extent of simplification of model which doesn't attract considerable decrease in accuracy of calculations.

Key words: freight train, reference model, automatic control system, stability.

Исследование электротехнического комплекса в среде MatLab с применением специализированных модулей

ИНЬКОВ Ю.М., КЛИМАШ В.С., КЛИМАШ С.В., ЖЕМЧУЖИНА Е.А.

В среде MatLab предложены модули вычислителей коэффициентов мощности, полезного действия и их произведения, характеризующих эффективность потребления и использования электроэнергии, коэффициентов несинусоидальности напряжения и искажения тока, характеризующих качество электроэнергии, реверсивный модуль полной мощности, ее активной и реактивной составляющих. При помощи разработанных модулей выполнено исследование электротехнического комплекса, обладающего возможностями разгрузки электрической сети и поддержания напряжения у потребителей на заданном уровне. Измерительные модули построены на элементах из Library Browser и совместимы с моделями MatLab. Рассмотрены структуры блоков для вычисления показателей энергоэффективности комплекса. Проанализирован процесс энергообмена через звено постоянного тока между двигателями, один из которых работает в режиме потребления энергии, а другой – в режиме генерирования и показано, что при этом потребление энергии электроприводами уменьшается. Установлено, что применение на трансформаторных подстанциях вольтодобавочных устройств со звеном постоянного тока, выполненных на основе статических преобразователей электроэнергии, позволяет существенно повысить энергоэффективность электротехнического комплекса.

Ключевые слова: электротехнический комплекс, эффективность потребления электроэнергии, коэффициент мощности, коэффициент полезного действия, коэффициент энергоэффективности, коэффициент несинусоидальности напряжения и тока, широтно-импульсная модуляция(ШИМ), спектральный анализ, специализированный измерительный блок.

The proposed modules of the solvers in the MatLab power factors, efficiency and their work characterizing the efficiency of consumption and use of electricity, the coefficients of non-sinusoidal voltage and current distortion characterizing power quality, reverse module full power, its active and reactive components. By means of the developed modules are made the study of electrotechnical complex with the capability to discharge electrical networks and maintain voltage consumers at a given level. The measuring modules are built on elements taken from the Library Browser, and compatible with MatLab. Examined the block structure to

compute the energy efficiency of the complex. Analyzes the process of energy exchange via the DC link between the engines, one of which operates in the mode of energy consumption, and the other in the mode of generation and it is shown that this reduces the energy consumption of the actuators. The use in transformer substations booster devices with a link potoyanno current, made on the basis of static converters of electric energy, allows to significantly increase the energy efficiency of electrical complex.

Key words: electrotechnical complex, efficiency of electricity consumption, power factor, efficiency factor, coefficient of efficiency, coefficient of non-sinusoidal voltage and current, pulse width modulation, spectral analysis, special measurement unit.

Электротехника, 2017, №9, стр. 19-25

Адаптация системы тягового электроснабжения постоянного тока для высокоскоростного движения

БАДЁР М.П., САЧКОВА Е.В.

Рассмотрены пути развития и совершенствования системы тягового электроснабжения постоянного тока и ее адаптация для высокоскоростных магистралей. Одним из способов совершенствования и повышения эффективности системы тягового электроснабжения является повышение номинального напряжения в тяговой сети постоянного тока до 24 кВ. Это позволяет повысить пропускную и провозную способность железных дорог, увеличить расстояние между подстанциями, снизить сечение проводов тяговой сети и значительно уменьшить потери электроэнергии в устройствах электроснабжения. Всё это, а также отсутствие при постоянном токе несимметрии питающего напряжения, индуктивных потерь и значительно меньшее электромагнитное воздействие на инфраструктуру превышают по эффективности все системы тягового электроснабжения переменного тока. Обоснована математическая модель динамических электромагнитных процессов в электрических схемах с полупроводниковыми преобразователями. Анализ и синтез электромагнитных процессов и основных характеристик многопульсовых преобразователей, их комплексное технико-экономическое сравнение показывает, что наиболее эффективными для этой системы являются 24-пульсные схемы выпрямления с последовательным соединением трехфазных мостов. Эти выпрямители обеспечивают повышение качества электрической энергии не только в первичной системе электроснабжения, но и в тяговой сети и позволяют применить более простые и экономичные активно-пассивные сглаживающие фильтры, обеспечивающие

электромагнитную совместимость (ЭМС) новой системы тягового электроснабжения постоянного тока с устройствами связи и железнодорожной автоматики. Кроме того, внедрение 24-пульсных выпрямителей позволяет существенно снизить потребление реактивной энергии, снизить потери электроэнергии в тяговой сети и повысить КПД тяговой подстанции.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения постоянного тока, электромагнитная совместимость, электромагнитные процессы, КПД.

The ways of development and improvement of traction power supply system of direct current and its adaptation for high-speed highways are considered. One of the ways to improve the efficiency of traction power supply system is to increase the nominal voltage in a DC traction network up to 24 kV. This allows to increase the throughput and carrying capacity of railways, increase the distance between substations, reduce the cross-section of the traction network wires and significantly reduce power losses in power supply devices. All this, as well as the lack of unbalanced supply voltage, inductive losses and a much lower electromagnetic influence on the infrastructure exceed all the traction power systems of alternating current in efficiency.

The mathematical model of dynamic electromagnetic processes in electrical circuits with semiconductor converters is substantiated. Analysis and synthesis of electromagnetic processes and the main characteristics of multipulse transducers, their comprehensive technical and economic comparison shows that the most effective for this system are 24-pulse rectification schemes with the serial connection of three-phase bridges. These rectifiers provide an improvement in the quality of electrical energy not only in the primary power supply system, but also in the traction network and allow the use of simpler and more economical active-passive smoothing filters that ensure the electromagnetic compatibility of the new traction DC power system with communication and rail automation devices. In addition, the introduction of 24-pulse rectifiers can significantly reduce the consumption of reactive energy, reduce power losses in the traction network and increase the efficiency of the traction substation.

Key words: the traction system of direct current power supply, electromagnetic compatibility, electromagnetic processes, efficiency.

РЯБЦЕВ Г.Г., ЖЕЛТОВ К.С.

На электроподвижном составе постоянного тока (пригородных электропоездах, метрополитене) применяют системы контакторно-реостатного пуска и электрического торможения тяговых электродвигателей. Согласно действующей технологии контроля сопротивления пуско-тормозных резисторов (ПТР) используются измерительные мосты постоянного тока. Такой контроль требует значительных затрат времени, трудоёмок и может сопровождаться ошибками операторов. Эти недостатки могут быть устранены автоматизацией контроля сопротивления ПТР. Автоматизация контроля сопротивления ПТР затруднена следующими факторами: большим количеством ступеней ПТР; диапазоном измеряемых сопротивлений, составляющим от десятых долей до нескольких единиц Ом; требуемой точностью сопротивлений и технологических допусков; влиянием переходного сопротивления соединений ПТР и сопротивлений соединительных проводов. Эти особенности конструктивного исполнения ПТР налагают на устройства автоматизированного контроля определённые ограничения по количеству, мощности и погрешностям составных элементов. В статье предложены принципы построения и расчёта параметров измерительного устройства, позволяющего автоматизировать контроль его сопротивления. В основу устройства положена измерительная мостовая цепь, с помощью которой формируется напряжение, уровень и знак которого определены уровнем и знаком отклонения измеряемого сопротивления ПТР от его номинального значения.

Ключевые слова: электроподвижной состав, пуско-тормозной резистор, измерительная мостовая цепь, точность измерений.

Electric rolling stocks on direct current (DC) – commuter trains, underground cars – are equipped with contactor-rheostatic starting systems and systems of electric braking of traction electric motors. DC measuring bridges are applied in the current technology of resistance control of start-brake resistors (SBR). The existing control method is time-consuming, difficult for the execution and may be associated with operator errors. These disadvantages can be eliminated by automation process of the resistance levels control of SBR. Practical implementation of automation process of resistance control of SBR is coupled with certain difficulties due to the following factors: number of SBR resistance levels to be measured is several tens; the span of values of the measured resistances is in the range from tenths to several units of Ohm; the nominal values of the resistance and technological tolerances for measured parameters are given with accuracy to thousandths Ohm. These design features of SBR impose certain limitations in

the number, capacity and constituent elements inaccuracy on automated control devices. The principles of construction and calculation of the measuring device parameters for automation resistance control of SBR with the observance above-mentioned features of the SBR design are offered in the article. The basis of the proposed control device is the measuring bridge circuit, which let form voltage, level and sign of which is determined by the level and sign of measuring SBR resistance deviation from its nominal value. The article describes the principles of construction and calculation of parameters of the measuring bridge circuit with multi-position SBR.

Key words: electric rolling stock, start-braking resistor, a measuring bridge circuit, the measurement accuracy.

Электротехника, 2017, №9, стр. 29-36

Оценка погрешности и помехоустойчивости тракта аналого-цифрового преобразования в системах автоматического контроля

БАРАНОВ Л.А.

Разработана методика расчета оценки погрешности и помехоустойчивости тракта аналого-цифрового преобразования в системах автоматического контроля и управления при использовании скользящего цифрового усреднения. Выполнены анализ оценок погрешностей и помехоустойчивости тракта аналого-цифрового преобразования при скользящем усреднении и сравнение этих оценок с соответствующими оценками при усреднении внутри шага временной дискретизации и при отсутствии усреднения. Получены удобные аналитические выражения для анализа оценок погрешности и помехоустойчивости тракта аналого-цифрового преобразования стационарных случайных сигналов и аддитивных помех. Проанализированы результаты расчетов погрешностей для различных дифференцируемых и недифференцируемых случайных сигналов, заданных автокорреляционными функциями. Рассмотрено влияние числа усредняемых отсчетов случайного сигнала, шага временной дискретизации на оценки погрешности и помехоустойчивости. Показано преимущество скользящего усреднения по сравнению с усреднением внутри шага временной дискретизации. Полученные расчетные соотношения позволяют при известных моделях сигналов и помех, заданной допустимой оценке погрешности выбирать параметры тракта преобразования (шаг временной дискретизации, число отсчетов преобразуемой суммы случайного сигнала и помехи при усреднении, разрядность аналого-цифрового преобразователя) в условиях, когда погрешность от

запаздывания нельзя исключить, в условиях, когда погрешность от запаздывания исключается. Приведены выражения, позволяющие оценить помехоустойчивость тракта преобразования.

Ключевые слова: системы автоматического контроля и управления, аналого-цифровое преобразование, оценка погрешности, оценка помехоустойчивости.

A technique was developed to calculate estimate of error and noise immunity analog-to-digital transformation in the systems of automatic control and administration with the use of sliding digital averaging. The analysis of estimates of errors and noise immunity analog-to-digital transformation by sliding averaging and the comparison of these estimations with the prorated estimations by averaging inside the step of the time discretization and by lack of averaging was carried out. There were deduced the opportune analytic expressions for analysis of evaluations of accuracy and noise immunity tract analog – to- digital conversion homogeneous in time random signals and additive noise. The results of calculation data of calculate estimates of errors for different differentiate and nondifferentiable random signals given by autocorrelation functions were analyzed. There was described the influence of number of averaged readings of random signal, the quantity of the step of the time discretization on estimates of errors and noise immunity. The advantage of sliding averaging in comparison with averaging inside the step of the time discretization was shown. The obtained calculated ratios by known signal and noise models, given permitted evaluation of accuracy afford to choose the characteristic quantities of the tract of conversion (the step of the time discretization, the number of readings of transformed sum of the random signal and noise by the averaging, the analog-to-digital converter capacity) by the work of tract conversion just as in conditions when the error from lagging cannot be excluded, so by exception error from lagging. There were given the expressions allowing to estimate noise immunity tract conversion.

Key words: system of automatic control, analog-to-digital conversion, error estimation, assessment of noise immunity.

Электротехника, 2017, №9, стр. 37-40

Сравнительный анализ эффективности работы двух- и четырёхсекционных электровозов ЭС5К

САВОСЬКИН А.Н., ГАРБУЗОВ И.И.

Выполнен сравнительный анализ результатов моделирования движения электровозов

2ЭС5К и 4ЭС5К по типовому участку с холмистым профилем (тип III), регламентированному нормативными документами. Получены графики токов на токоприемниках электровозов, рассчитано потребление активной энергии электровозами и ее отдача тяговыми подстанциями, а также потери активной энергии в тяговой сети, вызываемые протекающими по ней токами. Определены реактивная и полная энергия в системе тягового электроснабжения за время хода электровоза с составом по участку. На основании этих данных рассчитаны удельные расходы энергии на тягу поездов, а также средневзвешенные коэффициенты активной и реактивной мощности. Проведено сравнение результатов моделирования для электровозов 2ЭС5К и 4ЭС5К. Показано, что увеличение числа секций электровоза приводит к увеличению удельного расхода энергии на тягу поездов и ухудшает энергетические показатели системы электрической тяги.

Ключевые слова: тяговая сеть, моделирование движения электровозов, рекуперативное торможение.

In that work was made the comparative analysis of results of modeling the motion of electric locomotives 2ES5K and 4ES5K on a track with a hilly profile (type III). As a result, we were obtained graphs of currents on the electric locomotives pantographs. We also calculated consumption of active energy by electric locomotives for train traction and active energy given by traction substations as well as active energy losses in traction network that caused by electric locomotives currents. Also reactive and total energies were calculated in considered system for time of experiment. Based on these data we calculated the specific energy consumption for traction, as well as the weighted average power factor and reactive power factor. Using that data, was made the comparison of simulation results for electric locomotive 2ES5K and electric locomotive 4ES5K. There are proved that the increasing number of electric locomotives sections increase the specific energy consumption for traction and decreased energetic quality parameters of the electric traction system.

Key words: traction network, modeling of electric locomotives movement, regenerative braking.

Электротехника, 2017, №9, стр. 40-45

Распределенная генерация электроэнергии в системе тягового электроснабжения железных дорог на основе ветровых электроустановок

КОТЕЛЬНИКОВ А.В., ШЕВЛЮГИН М.В., ЖУМАТОВА А.А.

Выполнена оценка возможности использования ветрового энергетического потенциала для электроснабжения тяговой сети железных дорог на примере района «Каратау» в Южном регионе Республики Казахстан, определены основные ветроэнергетические характеристики региона. Представлен интерфейс программы с результатами статистической обработки массивов данных по длительному мониторингу ветровых показателей исследуемого района с определением скорости ветра в течение месяца, математического ожидания, закона плотности вероятности распределения скорости ветра за месяц, диаграмм распределения ветра по суткам в течение месяца, мгновенных значений (порывов) скорости ветра за 24 часа и средней скорости ветра по часам суток за месяц. Приведена схема системы тягового электроснабжения с распределенной генерацией энергии на основе ветровых электроустановок, их схема замещения и конструктивное исполнение, в состав которого входят ветрогенераторы, выпрямительные и инверторные преобразовательные агрегаты, а также накопитель электрической энергии с преобразователем постоянного тока. Получены теоретические зависимости для определения дополнительных потерь электроэнергии в тяговой сети при перераспределении энергии в системе тягового электроснабжения от главных тяговых подстанций к накопителям энергии на «ветровых» тяговых подстанциях в периоды неблагоприятной ветровой ситуации в районе. Описаны режимы работы ветроэнергетических объектов, входящих в систему тягового электроснабжения и «ветровые» тяговые подстанции, с учетом чисто тягового режима от ветровых электрогенераторов, питания поездов от накопителей энергии в условиях дефицита ветрового усилия, режимов рекуперации энергии при торможении поездов, а также с качественным определением их параметров работы. Оценочно определены основные электротехнические характеристики оборудования «ветровых» тяговых подстанций.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения, тяговые подстанции, возобновляемые источники энергии, ветровые электроустановки.

The assessment of a possibility of use of wind power potential for power supply of traction network of the railroads on the example of the area of Karatau in the Southern region of the Republic of Kazakhstan is made, the main wind power characteristics of the region are defined. The interface of a specially developed program with the results of statistical processing of data sets for the long-term monitoring of the wind indicators of the investigated area with the determination of the wind speed during the month and mathematical expectation, the law of the probability density of the distribution of wind speed for the month, the diagrams of the wind

distribution over the day in Month, instant values (gusts) of the wind speed in 24 hours and average wind speed by the hour of the day during the month. The scheme of traction power supply system is presented. With distributed energy generation based on wind-driven electrical installations, a replacement circuit and their design, which includes directly wind generators, rectifying and inverter converter units, as well as an accumulator of electrical energy with its own DC converter. Theoretical dependencies are obtained to determine additional losses of electric power in the traction network during the redistribution of energy in the traction power supply system from the main traction substations to power storage units at "wind" traction substations during periods of unfavorable wind situation in the area. The modes of operation of electric power facilities included in the traction power supply system and, in "wind" traction substations, are described taking into account the purely traction mode from wind power generators, feeding trains from energy storage facilities in conditions of wind power deficit, energy recovery regimes When trains can be trailed, as well as with a qualitative definition of their performance parameters. It is estimating the main electro technical characteristics of "wind" traction substations are defined.

Key words: system of traction power supply, traction substations, renewables, wind electro installations.

Электротехника, 2017, №9, стр. 46-48

Уменьшение потерь электроэнергии в тяговой сети за счёт выравнивания напряжения на шинах тяговых подстанций постоянного тока

ГРЕЧИШНИКОВ В.А., ШАЛАМАЙ И.В., ВЛАСОВ С.П.

Режим напряжения в тяговой сети может вызывать нежелательные перетоки мощности, что, в свою очередь, приводит к потерям мощности. В статье теоретически и на основе компьютерного моделирования показано, что равенство напряжений на шинах всех подстанций при любых изменениях параметров системы тягового электроснабжения и поездной ситуации обеспечивает минимум потерь электрической энергии в тяговой сети. Предложен алгоритм управления напряжением на шинах тяговых подстанций для его выравнивания по всему участку электрических железных дорог постоянного тока.

Ключевые слова: напряжение тяговой подстанции, потери мощности, выравнивание напряжения, матричные методы, минимизация матричных функций

The voltage mode in the traction network can cause unwanted power flows that, in turn, lead to power losses in the traction network. In the article, theoretically and on the basis of computer simulation, it is proved with the help of the matrix method of calculating electrical circuits that the equality of the voltages on the buses of all substations under any changes in the parameters of the traction power supply system and the train situation ensures a minimum of losses of electric energy in the traction network. An algorithm for controlling the voltage on the tines of traction substations is proposed for its alignment throughout the section of electric DC railways.

Key words: voltage of rectifier substation, power losses, voltage grading, matrix method, minimization of matrix functions

Электротехника, 2017, №9, стр. 49-54

Способ управления линейным асинхронным двигателем

ЛИТОВЧЕНКО В. В., ШАРОВ В.А., СИДОРОВА Н.Н.

Приведено обоснование одного из возможных способов управления линейным асинхронным двигателем (ЛАД) с контролем нормальной составляющей силы взаимодействия индуктора и реактивной шины. Показано, что нормальное усилие в одностороннем ЛАД может оказывать большое влияние на работу устройств и систем, на которых установлен двигатель. Эта нормальная сила может притягивать индуктор к реактивной шине, либо отталкивать его от шины. Для модели двигателя, представленного в виде четырех зон - индуктор, воздушный зазор, токопроводящая шина и стальной сердечник реактивной шины - получены аналитические выражения для расчета составляющих магнитного поля в воздушном зазоре. Влияние продольного и поперечного краевых эффектов в рассматриваемой плоской модели двигателя не учитывается. Получены выражения для определения удельных на единицу поверхности касательных и нормальных сил. Показано, что касательная сила при изменении скольжения от отрицательных до положительных значений изменяется подобно электромагнитному моменту обычного асинхронного двигателя с вращающимся ротором. Нормальная сила при изменении скольжения может притягивать индуктор к реактивной шине или отталкивать его от шины. Наибольшего значения сила притяжения достигает при нулевом скольжении. Скольжение, при котором нормальная сила равна нулю, определяется только полюсным делением и проводимостью материала реактивной шины и обеспечивает работу двигателя с наибольшим коэффициентом мощности. Предлагается измеренное значение нормальной силы использовать как параметр при построении системы

управления тяговым ЛАД.

Ключевые слова: линейный асинхронный двигатель, индуктор, реактивная шина, воздушный зазор, индукция магнитного поля, сила тяги, сила торможения.

The article describes the case of one of the possible methods of control of linear induction motor with controlled normal component of force of interaction of inducer and reactive bus. It is shown that the normal force in a unilateral linear asynchronous motor can have significant value and exert a large influence on the operation of devices and systems installed on the engine. This normal force to pull the inductor to the jet bus, or to push him away from the jet bus. For the models of engine are presented in the form of four zones: inductor air gap, the conductive bus and the reactive steel core tire, the analytical expressions to calculate the components of magnetic field in the air gap. The effect of longitudinal and transverse edge effects in the considered model plane motor is not included. Expressions for the determination of the specific per unit area of the tangential and normal forces. It is shown that the tangent force when you change the slide from negative to positive values changes, as in the electromagnetic torque of conventional asynchronous motor with a rotating rotor. Normal force when you change the slide to pull the inductor to the jet bus, or to push him away from the jet bus. The highest values of the force of gravity reaches at zero slip. The slide, in which the normal force is equal to zero, is determined only by the pole dividing the conductivity of the reactive material of the tire and provides the engine with the highest power factor. It is proposed the measured magnitude of the normal force to use as a parameter when constructing a control system of the traction linear asynchronous motor.

Key words: linear asynchronous motor, inductor, jet tire, air gap, magnetic induction, force thrust, braking force.

Электротехника, 2017, №9, стр. 54-59

Упрощенная эквивалентная тепловая схема замещения статора асинхронного двигателя

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

Выполнен обзор исследований в области теплового состояния асинхронных двигателей, на основании которого установлено, что в большинстве случаев максимальный перегрев испытывает обмотка статора. В результате анализа методов, позволяющих определить

температуру узлов асинхронного двигателя, предложены эквивалентные тепловые схемы замещения, в частности – упрощенная схема замещения для определения температуры обмотки и магнитопровода статора. Синтезированы уравнения теплового равновесия. Разработана методика определения тепловых сопротивлений статора при помощи стендовой установки, на которой учтены особенности охлаждения двигателей конкретного типа, что избавляет от необходимости рассматривать асинхронный двигатель как аэродинамическую систему. Методика апробирована на стенде, содержащем короткозамкнутый асинхронный двигатель мощностью 14 кВт. Температура в различных узлах двигателя измерялась с помощью хромель-копелевых термопар, а его нагрузка имитировала нагрузку тягового электропривода транспортных машин. Приведены результаты экспериментов, которые позволили выявить влияние частоты вращения вала двигателя и объема охлаждающего воздуха на значения тепловых сопротивлений.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, бездатчиковое определение температуры, эквивалентная тепловая схема, мощность потерь, тепловое сопротивление, тяговый электропривод, эксперимент.

Based on the survey of investigations of thermal behavior of induction motors, it is established that the stator winding of an induction motor endures the highest values of temperatures in most applications and work modes. Analyses of techniques to determine the temperatures of different units of induction motor allows to propose the use of equivalent thermal circuits as a way of temperature distribution investigation. The simplified equivalent circuit is supposed to determine the temperatures of the end- and slot-part of the stator winding and stator yoke. The equations based on the equivalent circuit and described the thermal state of the induction motor are written. The technique to calculate thermal resistances of the stator by means of laboratory setup consisting of the 14 kW induction motor with a number of chromel-copel thermocouples distributed over the stator volume is developed. This technique takes into account the peculiarity of induction motor cooling and allows to avoid considering an induction motor as an aerodynamic system. The load device of the induction motor is a physical model of the mechanical part of the rolling stock traction drive, it includes some rolls, clutches, springs, friction brake and DC motor as an independent load device. The obtained results show the good convergence with the results obtained by detailed equivalent thermal circuit. The results of experimental investigation to be presented show the quantitative influence of the rotor speed and air cooling flow on the thermal resistances.

Key words: induction motor, non-invasive techniques of temperature determination, equivalent thermal circuit, power losses, thermal resistance, traction drive, experiment.

Электротехника, 2017, №9, стр. 60-63

Надежность систем с периодической кусочно-постоянной интенсивностью отказов

БАРАНОВ Л. А., ЕРМОЛИН Ю.А.

Одна из важнейших задач прикладной теории надежности – обоснование необходимости и своевременности проведения ремонтов на восстанавливаемых объектах (либо замены их компонентов). Основа для принятия таких решений – сравнение экономических, технических и экологических показателей. Такая задача является многокритериальной, один из наиболее важных критериев – оценка среднего времени наработки объекта до отказа. В этом случае, при известной репрезентативной базе данных по отказам объекта, задача решается методами теории надежности. Рассмотрено решение надежности задач для класса объектов, находящихся под воздействием нестационарного потока отказов с периодической кусочно-постоянной интенсивностью. Приведены примеры таких объектов. Аналитически определены функция надежности и среднее время наработки до отказа. Модель отказов задана l состояниями объекта, в каждом из которых интенсивность отказов постоянна, состояния объекта повторяются с заданным периодом. Дополнительно рассмотрен частный случай с двумя состояниями, что соответствует сезонным изменениям интенсивности отказов. Приведен анализ влияния интенсивности отказов на среднее время наработки до отказа.

Ключевые слова: надежность, поток отказов, интенсивность отказов, среднее время наработки до отказа.

A primary consideration of the applied reliability theory is a substantiation of a need and timeliness of repairs carrying out of reparable objects (or for a replacing its components). The basis for a decision making regarding a repair need is the clearing up an expedience of the object using in what follows through comparison of some economic, technical and ecological indexes. As is obvious, this is multicriteria problem. One of the most important (but not only) criterion is the mean operating time to failure. In general, given the representative failure data base, this is practised by reliability theory procedures. In paper discusses the need of the solution of reliability problems for a class of objects subjected to a nonstationary failure flow with a periodic piecewise constant rate. The examples of such objects are given. Analytically the reliability function and mean operating time to failure are defined. A failure model is given by l states of an

object, each determined by a specific failure rate. The object states are repeated by a given period. In addition, the special case of two states that correspond to the seasonally changing of failure rate is considered. The analysis of the affect of various failure rate on the mean operating time to failure is carried out.

Keywords: reliability, failure flow, failure rate, mean operating time to failure.

Электротехника, 2017, №9, стр. 66-71

Теплопроводность электроизоляционных материалов и систем изоляции

**МЕЛЕШЕНКО В.Н., ОГОНЬКОВ В.Г., ЧИРИКОВ А.В., СЕРЕБРЯННИКОВ С.В.,
СЕРЕБРЯННИКОВ С.С., А.П. ЧЕРКАСОВ**

С помощью установки DTC-300 исследована теплопроводность нескольких электроизоляционных материалов, применяемых в системах изоляции обмоток турбо- и гидрогенераторов, а также теплопроводность системы изоляции «Монолит-2».

Исследованы коллекторный слюдопласт (КИФЭ-А), углепластик, стеклотекстолит с полупроводниковым наполнителем (СТЭФ-П), эпоксидная смола (DER-438), компаунд ПК-11 в смеси со смолой ЭД-20 и препрег- материалы, используемые в том числе для крепления обмоток при укладке их в паз. Зависимости теплопроводности исследованных материалов от температуры имеют линейный характер в относительно небольшом интервале температур от комнатной до +150°C. Выполнена оценка распределения температуры по толщине пластины, имитирующей изоляцию в пазу электрической машины. Показано, что перепад температуры между источником тепла и наружной поверхностью составляет десятые доли градуса. На модели статора гидрогенератора ($U_{\text{раб}} = 13,8$ кВ, мощность 70 МВт, изоляция «Монолит-2») изучено распределение температур в пазу длиной 1,5 м с вентиляционными каналами через каждые 50 мм с двумя уложенными изолированными стержнями при различных видах закрепления стержней и толщине изоляции.

Ключевые слова: электрические машины, изоляция, теплопроводность, распределение температур.

Heat conductivity of several electroinsulating materials applied in systems of insulation of windings of a turbo - and hydrogenerators and also heat conductivity of insulation system "Monolith-2" is investigated by means of DTC-300 installation. Collector micaceous (KIFE-A),

carbon fiber, glass fiber laminate with a semiconductor filler (STEF-P), epoxy (DER-438), PK-11 compound with ED-20 resin and prepreg used in insulation system and for windings fastening in case of their laying down in a groove are probed. Temperature dependences of heat conduction of probed materials have the linear character in rather small interval of temperatures from room temperature to +150 °C. The assessment of distribution of temperature on thickness of the plate imitating insulation in a groove of the electrical machine is made. It is shown that temperature drop between a source of heat and an outside surface makes the tenth shares of degree. Distribution of temperatures in a groove of 1,5 m long with ventilating channels through each 50 mm with two laid-down isolated rods in case of different types of rods fastening and thickness of insulation studied on hydrogenerator stator model ($U_w = 13,8$ kV, the power of 70 MW, insulation system «Monolith-2»).

Key words: electrical machines, insulation, heat conductivity, distribution of temperatures.

Электротехника, 2017, №9, стр. 72-78

Сравнение энергетической эффективности тягового электропривода электровозов переменного тока на основе коллекторных и асинхронных двигателей

ВЛАСЬЕВСКИЙ С.В., КУЧУМОВ В.А., ЩЕРБАКОВ В.Г.

Дана оценка энергетической эффективности электровозов переменного тока 3ЭС5К с коллекторными тяговыми двигателями постоянного тока в режимах тяги и рекуперативного торможения на конкретном профиле пути отдельных участков между станциями Хабаровск-2 и Бикин Дальневосточной железной дороги. Приведены реальные тяговые и тормозные характеристики, а также характеристики мощности на этих участках, построенные по параметрам работы электровоза 3ЭС5К при ведении грузового поезда большой массы и длины. Проведен анализ характеристик электровоза 3ЭС5К и сравнение их в равных условиях движения поезда с характеристиками электровоза 2ЭС5, имеющего асинхронные тяговые двигатели. На основе этого анализа рассмотрена энергетическая эффективность работы электровозов переменного тока 2ЭС5 и 3ЭС5К. Показаны причины лучшей энергетической эффективности электровозов 3ЭС5К по сравнению с 2ЭС5.

Ключевые слова: электровоз, электрический привод, тяговые и тормозные характеристики, характеристики мощности, расход и возврат электроэнергии.

In article the assessment of power overall performance of electric locomotives of alternating current 3ES5K with the collector drive in the modes of draft and recuperative braking on a concrete profile of a way of separate sites of stages between Khabarovsk-2 and Bikin stations of the Far East railroad is given. Real traction and brake characteristics, and also the characteristics of power on these sites constructed in parameters of work of an electric locomotive 3ES5K when maintaining by of the cargo train of big weight and lengths are shown. The analysis of all characteristics of an electric locomotive 3ES5K and their comparison on an equal footing of the movement of the train with characteristics of an electric locomotive 2ES5 with the asynchronous drive is carried out. The reasons of the best power efficiency of electric locomotives 3ES5K in comparison with 2ES5 are opened.

Key words: Electric locomotive, electric drive, traction and brake characteristics, characteristics of power, expense and return of the electric power

Электротехника, 2017, №9, стр. 79-83

К выбору параметров циклических безредукторных электроприводов с линейной диаграммой скорости

САПСАЛЕВ А.В., МЕХТИЕВ А.Д., РЕШЕТНИКОВ А.Н.

Рассматривается соотношение параметров оптимальной по быстродействию линейной диаграммы скорости циклических безредукторных электроприводов. Функция цели, определяющая номинальный момент, необходимый для воспроизведения заданного движения, формируется в относительных единицах на основе обобщенного уравнения движения электропривода. Показано, что с учетом ограничения тепловых потерь в двигателе наиболее близка к оптимальной параболическая линейная диаграмма скорости с равными ускорениями на участках пуска и торможения. Получены аналитические соотношения, позволяющие обеспечить рациональный выбор номинальных параметров циклических безредукторных электроприводов. Показано, что для линейной диаграммы скорости с равными ускорениями на участках пуска и торможения оптимальное значение относительной скорости не зависит от параметров двигателя и воспроизводимого движения и равно $v_{\text{опт}}=0,75$. Оптимальные параметры циклических безредукторных приводов, работающих по тахограмме с постоянным и равным ускорением на участках пуска и торможения, определяются всего двумя обобщенными координатами системы. Эти координаты определяются относительным динамическим моментом инерции привода

и относительным значением момента статического сопротивления движению.

Полученные соотношения позволяют обеспечить рациональный выбор номинального момента и его кратности в пусковых режимах.

Ключевые слова: циклический электропривод, линейная тахограмма, уравнение движения, функция цели, оптимизация параметров.

Optimal parameters of the linear chart speed cyclic gearless electric drives are considered. Objective function is formed in relative units based on the generalized equation of motion actuator. Proven that is closest to optimum linear parabolic chart speed with equal accelerations on start-up and braking. Analytical balance to ensure the rational choice of nominal parameters of circular gearless electric drives is obtained. It is shown that relative speed best value of linear velocity diagram with equaled accelerations at startup and braking areas does not depend on motor parameters, reproducible motion, and equals to $v_{opt}=0,75$. Optimal parameters of cyclic gearless electric drives which operate by tachogramm with constant and equaled accelerations at startup and braking areas are defined by two generalized system coordinates only. This coordinates are defined by driver relative dynamic moment of inertia and relative value of static drag torque. Obtained relations allow assuring the efficient choice of rating torque and its multiplication factor in starting conditions.

Key words: cyclic electric, linear tahogramm, equation of motion, the objective function; optimization settings.

Электротехника, 2017, №9, стр. 84-88

Альтернативные источники электроэнергии для снабжения предприятий промышленных центров арктической зоны Якутии

ДАВЫДОВ Г.И., КОБЫЛИН В.П., КОБЫЛИН А.В., ЛИ-ФИР-СУ Р.П., СЕДАЛИЩЕВ В.А., НЕСТЕРОВ А.С.

Рассмотрен вариант альтернативного электроснабжения промышленных центров арктической зоны от магистральной межсистемной линии электропередачи, объединяющей Восточную Сибирь, Якутию, Дальний Восток и Магаданскую область, путем строительства линии электропередачи «Хандыга–Усть-Куйга» протяженностью 825 км напряжением 220 кВ и пропускной способностью 203 МВт. Предложены технические решения, позволяющие обеспечить устойчивую передачу электроэнергии требуемого качества, необходимой пропускной способности и эффективности. С этой целью предложено в средней части линии (в расчетной точке) установить вольтодобавочный

канал, управляемый тиристорной системой стабилизации параметров для передачи по ВЛ мощности близкой к натуральной. Электрические расчеты ВЛ классов 220, 330 и 500 кВ показывают, что по пропускной способности ВЛ-220 имеет запас свыше 60 МВт, а по затратам, по сравнению с ВЛ-330 и ВЛ-500, экономичнее в 1,5 и 2,5 раза соответственно.

Ключевые слова: арктическая зона, межсистемные линии электропередачи, пропускная способность, компенсирующие устройства

The option is offered of alternative power supplies to industrial centers of the Arctic zone from the main intersystem power line uniting Eastern Siberia, Yakutia, the Far East and the Magadan region, by power line construction "Khandyga–Ust-Kuiga" length of 825 km at a voltage of 220 kV capacity of 203 MW. The technical devices, allowing to provide steady transfer of the electric power of the demanded quality necessary for power transmission capacity and efficiency are offered. It is for this purpose offered in a middle part of the line (in a settlement point) to install the booster channel operated by thyristor system of stabilization of parameters for transfer on an air-line (AL) of power close to natural. Electric calculations of AL of classes 220, 330 and 500 kV show that on the capacity of AL-220 kV has a stock over 60 MW, and on expenses, in comparison with AL-330 and AL-500 kV, is more economic in 1,5 and 2,5 times respectively.

Key words: arctic zone, intersystem transmission lines, power transmission capacity, compensating devices

Электротехника, 2017, №9, стр. 89

Георгий Маркович Мустафа (К 75-летию со дня рождения)

Электротехника, 2017, №9, стр. 90

Михаил Васильевич Загирняк (К 70-летию со дня рождения)