

Оценка уровня сигналов в рельсовых линиях на основе энергетического спектра и дискретного преобразования Хартли

БЕСТЕМЬЯНОВ П.Ф., ВАНЬШИН А.Е., КАТКОВ М.В.

Построение системы автоматической блокировки на основе микропроцессорной техники позволяет реализовать помехоустойчивые алгоритмы оценки уровня сигнала в рельсовых линиях на основе спектрального анализа в узкой полосе частот. Цифровая фильтрация на основе дискретного преобразования Хартли (ДПХ) и оценка энергетического спектра сигнала в заданной полосе частот реализуется с помощью модифицированного алгоритма расчета четных и нечетных компонент ДПХ. Алгоритм позволяет уменьшить объем занимаемой памяти и повысить скорость обработки сигналов в реальном масштабе времени (уменьшить время, необходимое для вычислительных операций). Приведены результаты использования предложенных алгоритмов для оценки уровней сигналов в рельсовых цепях на действующем участке железной дороги.

Ключевые слова: рельсовая цепь, дискретное преобразование Хартли, энергетический спектр сигнала, автоматическая блокировка.

The construction of an automatic blocking system based on microprocessor technology allows to implement noise-resistant algorithms for assessing the signal level in the rail lines due to spectral analysis in a narrow frequency band. Digital filtering based on the Hartley discrete transformation (DPH) and evaluation of the signal energy spectrum in a given frequency band is implemented using a modified algorithm for calculating the even and odd components of the DPH. The algorithm allows to reduce the amount of memory and increase the speed of signal processing in real time (reduce the time required for computing operations). The results of using the proposed algorithms to estimate the signal levels in the rail circuits on the existing section of the railway are presented.

Key words: rail circuit, discrete Hartley transformation, energy spectrum of the signal, automatic blocking.

Противоаварийная автоматика при бесперебойном тяговом электроснабжении метрополитенов

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

Системы тягового электроснабжения постоянного тока с традиционным напряжением питания 825 В – основополагающая транспортная инфраструктура мегаполисов. Развитие электрифицированных железных дорог привело к массовому использованию таких систем электроснабжения. Преимуществам и недостаткам этих систем электроснабжения железных дорог посвящено множество работ, однако современные реалии обязывают эксплуатировать, поддерживать работоспособность, модернизировать и повышать их эффективность. На метрополитене вводится новый подвижной состав с асинхронными двигателями, увеличиваются нагрузки, увеличивается парность движения. Одним из важных аспектов обеспечения перевозочного процесса в таких условиях является поддержание бесперебойного электроснабжения электроподвижного состава. Это, в свою очередь, возможно за счёт адекватной и своевременной реакции обслуживающего персонала, энергодиспетчеров, систем автоматики и противоаварийной автоматики и т.д. В современных условиях развития техники используются микропроцессорные системы, которые нашли своё отражение в интеллектуальных терминалах питающих линий тяговой сети, используемых в метрополитенах. Их алгоритмическая часть должна модернизироваться и совершенствоваться для соответствия современным реалиям эксплуатации метрополитенов, интегрируя алгоритмы противоаварийной автоматики, полноценный анализ аналоговых процессов в тяговой сети, дискретных сигналов автоматики и телемеханики, состояний и переключений коммутационного оборудования, что должно способствовать повышению автоматизации тяговой подстанции, переход к её полной необслуживаемости.

Ключевые слова: алгоритмы, противоаварийная автоматика, бесперебойное электроснабжение, метрополитены, тяговые подстанции, автоматизация

Traction DC power supply systems with a traditional 825 V – the basic transport infrastructure of megacities. The development of electrified railways led to the mass use of such power supply systems. Many works have been devoted to the advantages and disadvantages of these railroad power supply systems, however, modern realities oblige to operate, maintain, modernize and improve their efficiency. On the subway, a new rolling stock with asynchronous engines is introduced, loads are increased, and the speed of the movement increases. One of the important aspects of ensuring the transportation process under such conditions is the maintenance of uninterrupted power supply of the electric rolling stock. This, in turn, is possible due to the adequate and timely response of maintenance personnel, energy dispatchers, automation systems

and emergency control systems, etc. In modern conditions of technology development, microprocessor systems are used, which are reflected in the intelligent terminals of the supply lines of the traction network used in subways. Their algorithmic part should be modernized and improved to meet the current realities of metropolitan operation, integrating the algorithms of emergency control automation, a full analysis of analog processes in the traction network, discrete signals of automation and telemechanics, states and switching of switching equipment, which should increase the automation of the traction substation, the transition to it full unattended.

Key words: algorithms, automatic emergency response system, uninterrupted power supply, subway, traction substation, automation.

Электротехника, №9-2018, стр. 13-18

Моделирование бездатчикового определения сопротивления и температуры обмоток статора и ротора асинхронного двигателя

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

Приведен краткий обзор существующих бездатчиковых методов определения температуры обмоток статора и ротора асинхронных двигателей (АД). Установлено, что одним из таких методов является косвенное определение температуры посредством измерения активного сопротивления обмоток АД. На основе эквивалентной схемы замещения АД теоретически обоснована возможность определения сопротивления введением дополнительных составляющих напряжения обмотки статора.

Сформулированы условия для корректного определения параметров при введении переменной составляющей напряжения. Рассмотрены особенности математической модели АД и методика моделирования определения сопротивления обмоток в пакете Matlab. Приведены результаты моделирования определения сопротивления обмотки статора путем введения постоянной составляющей напряжения и сопротивления обмотки ротора посредством введения постоянной и высокочастотной составляющих напряжения. Рассмотрено влияние вводимых напряжений на электромеханические координаты электропривода. Даны предложения по выбору частоты переменной составляющей напряжения, выполнена оценка реализуемости предложенного метода в современных системах управления электроприводов.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, бездатчиковое определение температуры, постоянная и высокочастотная составляющие, эквивалентная схема замещения, Matlab.

The brief survey of determination of induction motor (IM) stator and rotor windings temperature by non-invasive techniques is shown. It is established, that one of such techniques is a determination of temperature by means of estimation of IM windings resistance. Based on an equivalent circuit, the theoretical background the technique of determination of the stator and rotor windings resistance and temperature by combined intermittent dc voltage and high-frequency and low-magnitude ac voltage injections is proposed. The conditions for the correct determination of IM windings resistances and temperatures by additional voltage injection are highlighted. The peculiarity of IM mathematical model and simulation technique of stator winding resistance determination are presented. The results of simulation of determination of stator winding resistance by DC voltage injection and rotor winding resistance by both DC and AC voltage injections in Matlab are shown. The assessment of its accuracy in a wide range of load torque and stator current frequency is evaluated. The influence of additional stator voltages injections on stator current and produced torque of an induction motor is shown. The recommendations on the values of the ac voltage injection frequency are given on a base of the stator current harmonic spectrum. The possibility of practical implementation in modern electric drives is discussed.

Key words: induction motor, non-invasive techniques of determination of windings temperature, direct current and alternating current signals, equivalent circuit, simulation, Matlab.

Электротехника, №9-2018, стр. 19-25

Опытно-промышленная эксплуатация реакторов РЖФА-6500 в составе двухзвенного сглаживающего фильтрующего устройства

ЛОБЫНЦЕВ В.В., ДУРАКОВ Д.Н., УСТИНОВ В.С., БАДЁР М.П.

Выполнен ввод в эксплуатацию двух блоков реактора РЖФА-6500 в составе двухзвенного сглаживающего устройства на тяговой подстанции «Лётная» Свердловской железной дороги. Для проверки работоспособности реактора выполнен опыт принудительного короткого замыкания без остановки движения электроподвижного состава по участку, измерен уровень психофотометрического напряжения на шинах постоянного тока тяговой подстанции и выполнен опыт принудительного короткого замыкания с остановкой движения по участку. В ходе проведения экспериментов сняты осциллограммы переходных процессов, анализ которых подтвердил работоспособность реакторов нового типа в составе двухзвенного фильтрующего устройства.

Ключевые слова: тяговая подстанция, реактор сглаживающего фильтрующего устройства, переходные процессы, принудительное короткое замыкание, дуга.

Is made commissioning of the filter reactor with complete magnetic flux closed two units inside of two stage filter device on the Sverdlovsk railroad "Letnaya" traction power substation. To check health of the new type filter reactor held a series of experiments: is made experiment on the plot of the railroad without stopping rolling stock, is measurement psophometric voltage level on DC buses of the traction power substation and held the experiment of the forced short circuit with stopping rolling stock on the plot of the railroad. In the experiment results received oscillograms of the transitional processes. The analysis of the oscillograms confirmed the performance of the new type filter reactor in the composition of two stage filter device.

Key words: traction power substation, filter reactor, transitional processes, forced short circuit, arc.

Электротехника, №9-2018, стр. 25-30

Технологический контроль монтажа поездных проводов вагона метрополитена

РЯБЦЕВ Г.Г., ЖЕЛТОВ К.С.

Рассмотрен способ автоматизированного контроля монтажа поездных проводов, основанный на оценке уровня электрических потенциалов в контрольных точках измерительной цепи. Измерительная цепь выполнена в виде двух резисторных делителей напряжения. Один делитель подключён к источнику постоянного напряжения и формирует опорный электрический потенциал заданного значения. Другой делитель подключён через отдельные резисторы к клеммам выходной соединительной коробки вагона. Питание второго делителя напряжения осуществляется по поездным проводам от генератора тестовых сигналов, которые поочерёдно подаются на входы поездных проводов. Значение электрического потенциала второго делителя напряжения зависит от различных состояний монтажа поездных проводов, при которых происходит изменение конфигурации включения резисторов этого делителя. Предлагаемый способ контроля монтажа поездных проводов путём оценки уровня электрических потенциалов в контрольных точках измерительной цепи позволяет выполнить устройство контроля полностью на бесконтактных элементах, что повышает его надёжность. Способ может быть использован для контроля монтажа иных видов многопроводных линий связи и

управления.

Ключевые слова: поездные провода, дефекты монтажа, технологический контроль, измерительная цепь, алгоритмы контроля.

Method of an automated control of train wires assembling based on a level of electrical potentials assessment in control points of measurement circuit is described. Measurement circuit is performed in the form of two resistor voltage dividers. One divider is connected to DC power supply and generates a reference electrical potential of a given value. Another divider is connected through separate resistors to terminals of an output junction box of a car. Power supply of the second voltage divider is provided by train wires from a generator of test signals alternately given to inputs of train wires. The value of the electrical potential of the second voltage divider depends on various states of train wires assembling changing the configuration of resistors inclusion of this divider. The offered method of control of train wires assembling by assessing the level of electrical potentials in control points of a measurement circuit enable to perform control device completely with contactless elements to increase its reliability. The method may be used for assembling control of other types of multi-wire communication and management lines.

Key words: train wires, assembling defects, technology control, measurement circuit, control algorithms.

Электротехника, №9-2018, стр. 28-30

Модель измерения параметров электромагнитных реле в системе диагностики

АЛЕКСЕЕВ В.М.

Рассмотрена модель измерения объектов контроля, обладающих большой инерционностью. Модель представляет последовательность операций, которые необходимо совершить на объекте контроля для измерения напряжений срабатывания или отпускания. На первом этапе в модели запускаются тестовые управления с различными параметрами для определения предварительных точек, на основании которых строится зависимость изменения напряжений срабатывания или отпускания. Затем в эту зависимость подставляется значение управляющего сигнала и получается искомое напряжение срабатывания или отпускания. Построение модели основано на использовании рядов. Выбирается вид опорной функции, находятся все члены этой

трансцендентной функции, в левой части которой находятся предварительно полученные результаты от воздействий тестовых управляющих сигналов, а в правой – искомые коэффициенты и управляющие сигналы. В модели определён вид трансцендентных функций в виде дробно-рациональных рядов, поскольку вид зависимости лучше всего формировать через эти функциональные ряды. Решение опорной функции основано на матричных вычислениях с использованием метода Гаусса для нормальных и переопределённых систем, а также теореме Коши перемножения полиномов. Реализация модели позволила в два раза сократить время измерения напряжений отпущения и срабатывания по сравнению с принятой технологией проверки реле первого класса надёжности.

Ключевые слова: электромагнитные реле, модель измерения, полином, дробно-рациональный ряд, метод Гаусса.

The article considers the problems of constructing measurement models of control objects having large inertia. The model represents a sequence of operations that must be performed on the test object for measuring voltage actuation or release. At the first stage in the model run control with various settings to determine preliminary points, on which is based the dependence of stress changes triggering or releasing. Then this relationship is substituted for the value of the control signal obtained and the desired voltage actuation or release. Building a model based on the use of ranks. Choose a reference function, are all members of this transcendental function, in the left part which contains the previously obtained results from the effects of the test control signals, and the right of the searched coefficients and control signals. The model defines the type of transcendental functions in a rational series since the dependence can be formed through these functional series. The decision support function based on matrix computation using the method of Gauss for normal and overdetermined systems, and theorem Cauchy multiplication of polynomials. Implementation of the model has allowed to halve the time of measuring stress release and actuation, compared to the adopted technology of the test relay of the first class reliability.

Key words: electromagnetic relays, measurement model, polynomial, rational number, Gaussian elimination.

электрообеспечения с вольтодобавочным трансформатором

КОСАРЕВ А.Б., КОСАРЕВ Б.И.

Рассмотрены энергетические соотношения в системе тягового электрообеспечения переменного тока с включением в неё силового многофункционального вольтодобавочного трансформатора при несинусоидальном токе и напряжении на токоприемнике электроподвижного состава. Показана целесообразность выбора и регулирования компенсирующей установки, подключенной к компенсационной обмотке трансформатора, исходя из минимума обменной энергии, определяемой наличием в системе тягового электрообеспечения емкостных и индуктивных накопителей энергии. Выработывая реактивную энергию, вольтодобавочный трансформатор уменьшает потери напряжения в системе электрообеспечения за счет уменьшения первичного тока, в то же время вследствие эффектов вольтодобавки и продольной емкостной компенсации он повышает напряжение в тяговой сети и, соответственно, увеличивает напряжение на токоприёмнике электроподвижного состава. Предложенный коэффициент эффективности компенсирующей установки позволяет с достаточной точностью выбирать ее мощность для обеспечения оптимального режима работы системы тягового электрообеспечения, при этом емкость компенсирующей установки, определяемая по критерию эффективности, оказывается в среднем на 15–20% меньше емкости, определяемой при использовании существующей методики.

Ключевые слова: тяговая сеть, компенсирующая установка, силовой многофункциональный вольтодобавочный трансформатор, активная и обменная энергии, несинусоидальный ток и напряжение.

The energy relations in the traction system of the AC power including power multifunction buster transformer with nonsinusoidal current and voltage at the pantograph electric rolling stock are considered. The expediency of the choice and control compensating installations connected to the compensation winding of buster transformer, based on a minimum metabolizable energy determined by the presence in the system of traction power capacitive and inductive energy storage. By generating reactive energy, the booster transformer reduces voltage losses in the power supply system by reducing the primary current, at the same time due to the effects of the volt and longitudinal capacitive compensation, it increases the voltage in the traction network and, accordingly, increases the voltage on the current collector of the electric rolling stock. The proposed efficiency coefficient of the compensating installation allows to choose its power with sufficient accuracy to ensure the optimal operation of the traction power supply system, while the capacity of the compensating installation, determined by the efficiency criterion, is on

average 15-20% less than the capacity determined by using the existing technique.

Key words: power train, compensating installation, multifunction power booster transformer, active and the exchange energy, non-sinusoidal voltage and current.

Электротехника, №9-2018, стр. 36-39

Специфика измерений асимметрии переменного тягового тока в рельсовых линиях ШАМАНОВ В.И.

До половины сбоев в работе работы рельсовых цепей и автоматической локомотивной сигнализации на участках железных дорог с электротягой переменного тока происходит из-за помех, вызванных асимметрией тягового тока в рельсовых линиях. Поскольку первоисточником указанной асимметрии является асимметрия сопротивлений рельсовых нитей в пределах рельсовой цепи, измерения сопротивления элементов каждой рельсовой нити обеспечивают возможность не только определять асимметрию тягового тока, но и находить элементы с сопротивлениями, выходящими за пределы нормы. Асимметрию тягового тока можно измерять и непосредственно, однако результаты измерений зависят также от условий их проведения – температуры рельсов и уровня переменного тягового тока в них, так как асимметрия сопротивлений рельсовых нитей рельсовой линии создается из-за несимметричного увеличения в них переходных электрических сопротивлений в стыках рельсовых звеньев и дроссельных перемычках. Эти переходные сопротивления мало зависят от температуры окружающей среды и тяговых токов в рельсовых нитях. В результате при уменьшении температуры рельсов типа Р65 от + 40 до – 40°С асимметрия сопротивлений рельсовых нитей с учетом их взаимной индуктивности увеличивается в 2,2–2,4 раза, а увеличение тягового тока в рельсах, например, в три раза вызывает почти такое же увеличение асимметрии. Влияние взаимной индуктивности рельсовых нитей с контактным проводом приводит к уменьшению асимметрии тягового тока в рельсовой линии. Взаимная индуктивность рельсовых нитей с высоковольтными линиями продольного электроснабжения, размещаемых на опорах контактной сети, может увеличивать или уменьшать эту асимметрию в зависимости от того, какая из рельсовых нитей обладает меньшим сопротивлением. Все эти факторы должны учитываться как при измерениях асимметрии сопротивлений рельсовых нитей или асимметрии переменного тягового тока в них, так и при экстраполяции этих данных на другие условия эксплуатации рельсовой тяговой сети по температуре рельсов; значениям токов в рельсовых нитях, контактных проводах и высоковольтных линиях.

Ключевые слова: рельсовые линии, рельсовые цепи, автоматическая локомотивная сигнализация, тяговый ток в рельсах, асимметрия тягового тока, измерения.

Up to half of the failures in the operation of rail circuits and automatic locomotive signaling on sections of railways with electric traction of alternating current occurs due to the disturbing effect of the asymmetry of the traction current in the rail lines. Since the primary source of this asymmetry is the asymmetry of the resistance of the rail threads within the rail circuits, the resistance measurements of the elements of each rail thread enable not only to calculate the asymmetry of the traction current, but also to find elements with resistances that go beyond the limits of the norm. The asymmetry of the traction current can also be measured directly. However, the results of measurements also depend on the conditions of their conduct – on the temperature of the rails and the magnitude of the alternating traction current in them. This is explained by the fact that the asymmetry of the rail threads resistance of the rail line is created by asymmetric increase in the transition electrical resistance in the joints of the rail links and in the throttle crosspiece. These transition resistances depend little on the ambient temperature and the traction currents in the rail threads. As a result, when the temperature of the rails of the P65 type decreases from +40 to –40 °C, the asymmetry of the resistance of the rail threads, taking into account their mutual inductance, increases by 2,2–2,4 times, and the growth of the traction current in rails, for example, provoked the same growth of this asymmetry. The influence of the mutual inductance of the rail threads with the contact wire leads to a decrease in the magnitude of the asymmetry of the traction current in the rail line. The mutual inductance of rail threads with high-voltage lines of longitudinal power supply placed on the supports of the contact network may increase or decrease this asymmetry, depending on which of the rail threads has less resistance. All these factors should be taken into account both when measuring the asymmetry of the resistance of the rail threads or the asymmetry of the alternating traction current in them, and when extrapolating these data to other conditions of operation of the rail traction network by rail temperature; by the magnitude of the currents in the rail threads, in the contact wires and in the high-voltage lines.

Key words: rail lines, rail circuit, automatic locomotive signaling, traction current in rails, traction current asymmetry, measurements.

Цифровая модель тяговой подстанции двух родов тока

ШЕВЛЮГИН М.В., КОРОЛЕВ А.А., КОРОЛЕВ А.О., АЛЕКСАНДРОВ И.А.

Рассмотрен подход к проектированию объектов тягового электроснабжения с помощью цифровой модели. На примере исследования динамических режимов работы тяговой подстанции двух родов тока «Ногинск», которая является важнейшей частью системы тягового электроснабжения проекта ВСМ-2 «Москва-Казань» рассмотрены преимущества предлагаемой модели. Выявлены особенности, которые необходимо учитывать при проектировании тяговых подстанций двух родов тока. Рассмотрена математическая модель расчёта несимметричного установившегося режима с учётом системы постоянного и переменного тока. В качестве примера использования цифровой модели системы тягового электроснабжения рассмотрены задачи оценки качества электрической энергии и выбора электрооборудования тяговой подстанции. Показаны преимущества единой цифровой модели как цифрового двойника системы тягового электроснабжения.

Ключевые слова: тяговая подстанция двух родов тока, тяговый расчёт, выбор оборудования, несимметрия напряжений, проектирование, цифровая модель, цифровой двойник.

An approach to the design of traction power supply facilities using a digital model is considered. The advantages of the proposed model are considered on the example of the study of dynamic modes of operation of the traction substation of two types of current «Noginsk», which is an important part of the traction power supply system of the project High Speed Rail «Moscow-Kazan». There were shown key peculiar properties to be covered in combined AC&DC railway substations. The unified unbalanced AC&DC time-domain power flow model is described. Railway substation voltage unbalance assessment and equipment sizing problems were used as examples of digital model using. Benefits of unified digital model as railway power supply system digital model were considered.

Key words: combined AC&DC railway substation, moving trains analysis, equipment sizing, voltage unbalance, design process, digital model, digital twin.

Энергоэффективность системы автоматического управления движением поездов метрополитена и требования к её подсистемам

БАРАНОВ Л. А., МАКСИМОВ В. М.

Выполнен обзор методов повышения энергоэффективности автоматического управления движением поездов метрополитена: выбор энергооптимальной последовательности режимов управления поездом, распределение времени хода по линии на времена хода по перегонам, использование режима рекуперативного торможения. Приведены результаты исследования влияния системы автоматического управления движением на расход энергии на тягу. Проведен анализ влияния увеличения времени прицельного торможения в условиях различных типов перегонов на дополнительный расход энергии при заданном времени хода поезда по перегону при отсутствии или наличии рекуперативного тормоза. Сформулированы требования к датчикам коррекции пути, которые должны обеспечивать необходимую точность позиционирования поезда при интенсивном торможении.

Проведено сравнение корректирующих датчиков на основе инфракрасных сигналов и RFID датчиков. Проведен анализ влияния изменения времени хода по перегону с целью компенсации рассогласования между плановым и исполненным графиками движения на дополнительный расход энергии. В условиях интенсивного движения требования к допустимой погрешности выполнения заданного времени хода поезда по перегону составляет $\pm 2,5$ с.

Ключевые слова: системы автоматического управления движением поездов метрополитена, энергоэффективность, расход энергии на тягу, точечные отметчики пути, регулятор времени хода.

We will review the methods for increasing the energy efficiency of automatic control over the movement of metro trains: choosing an energy optimal sequence of train control modes, distributing the travel time along the line for travel times over the distances, using the regenerative braking mode. The results of a study related to the influence of the automatic control system on the energy consumption for traction by train are presented. We will analyze the effect of the increase in the time of impact braking in conditions of different types of distances for an additional energy consumption for a given train travel time over the distillation. Both in the absence and in the presence of a regenerative brake. Let's formulate the requirements to the path correction sensors, which should provide the necessary accuracy of the train positioning during intensive braking. Comparison of corrective sensors based on infrared signals and RFID sensors is made. We will analyze the effect of changing the travel time on the distillation in order to compensate for the discrepancy between the planned and executed traffic graphs for additional energy consumption. In conditions of intensive traffic, the requirements for

the permissible error in the execution of a given train travel time over the range are ± 2.5 s.

Key words: systems of automatic control of subway train movement, energy efficiency, power consumption for traction, point segments of the path, the time-travel controller.

Электротехника, №9-2018, стр. 49-53

Оценка рисков, связанных с функционированием систем электрической централизации

ГОРЕЛИК А.В., ГОРЕЛИК В.Ю., ШАЛЯГИН Д.В.

В статье предложен метод, позволяющий оценить риски, связанные с уровнями безотказности функционирования систем электрической централизации стрелок и сигналов на железнодорожных станциях. Оценка основана на математической модели следующих случайных процессов: отказов и восстановлений системы электрической централизации стрелок и сигналов и использования данной системы для реализации функций по регулированию процесса движения поезда на заданной станции. Расчет риска, связанного с безопасностью функционирования системы электрической централизации, выполняется в целом для железнодорожной станции, а не для конкретного варианта событий; статистика событий, связанных с нарушением безопасности, имеет малую выборку. Риск, связанный с безотказностью функционирования системы электрической централизации, оценивается с помощью матриц рисков, которые представляют собой таблицы с сочетанием вероятности возникновения задержек поездов на станции из-за отказов системы электрической централизации, и объема таких задержек. Для оценки рисков, связанных с уровнем надежности функционирования, в качестве частоты событий в матрице используется вероятность задержки поездов, а в качестве последствий событий – количество задержанных поездов в течение расчетного периода и среднее время задержки одного поезда на рассматриваемой станции. Результаты оценки могут быть использованы для принятия обоснованных управленческих решений.

Ключевые слова: системы электрической централизации, риск, управление ресурсами, безотказность.

The article proposes a method that allows to assess the risks associated with the levels of reliability of the functioning of the systems of electric centralization of arrows and signals at railway stations. Risk assessment is based on a mathematical model of the following random

processes: failure and recovery of the system of electric centralization of arrows and signals and the process of using this system to implement the functions of regulating the process of train movement at a given station. The calculation of the risk associated with the safety of the EC system is made for the whole railway station, and not for a specific event option, and the statistics of events related to security violations, has a small sample. The assessment of risk associated with the reliability of the system functioning of EHC is carried out using risk matrix which represent a table with the combination of the probability of occurrence of delays of trains at the station due to system failures of ETS and volume of these delays. To assess the risks associated with the level of reliability of operation, the probability of train delays is used as the frequency of events in the matrix, and the number of delayed trains during the calculation period and the average delay time of one train at the station under consideration is used as the consequences of the events. The results of the evaluation can be used to make informed management decisions.

Key words: electrical interlocking system, risk, resource management, reliability.

Электротехника, №9-2018, стр. 54-57

Характеристики выходных фильтров, обеспечивающих электромагнитную совместимость преобразователя частоты электропривода с асинхронными двигателями

ИНЬКОВ Ю.М., ПУДОВИКОВ О.Е., ПУСТОВЕТОВ М.Ю.

Путем математического моделирования выполнен анализ характеристик выходных фильтров электромагнитной совместимости преобразователя частоты, в том числе логарифмических амплитудно-частотных характеристик. В установившемся режиме работы при несущей частоте широтно-импульсной модуляции 2,5 кГц и основной частоте напряжения питания асинхронного двигателя 50 Гц рассмотрены фильтры с различными параметрами, в том числе при разных схемах подключения демпфирующих резисторов – при параллельном подключении индуктивности в продольной ветви фильтра и при последовательном подключении емкости в поперечной ветви фильтра. Также рассмотрен фильтр, не содержащий демпфирующих резисторов. Учтены потери в фильтрах. Для фильтра без демпфирующих резисторов сделан вывод о необходимости учета паразитных параметров конденсаторов: эквивалентной последовательной индуктивности; эквивалентного последовательного сопротивления; эквивалентного параллельного сопротивления, учитывающего токи утечки через конденсатор; стабилитрона,

имитирующего поведение конденсатора при перенапряжениях.

Ключевые слова: фильтр электромагнитной совместимости, демпфирующий резистор, конденсатор, математическое моделирование.

The analysis of characteristics (including Bode diagrams) of the electromagnetic compatibility output filters for frequency converter is carried out by means of computer simulation. filters with various parameters, including different schemes of damping resistors connection such as parallel connection to inductance in series branch of filter and series to capacitor connection in parallel branch of filter, were considered in the steady-state operation mode at 2,5 kHz carrier frequency of voltage pulse-width modulation and 50 Hz frequency of fundamental harmonic of induction motor feeding voltage. The case of filter without damping resistors also considers. Losses in filters taken into account. Authors makes the conclusion about the need to take into account the parasitic parameters of capacitors: equivalent series inductance; equivalent series resistance; equivalent parallel resistance, accounts for leakage current in the capacitor; Zener diode, models overvoltage behavior, in case of filter without damping resistors.

Key words: electromagnetic compatibility filter, damping resistor, capacitor, mathematical modeling.

Электротехника, №9-2018, стр. 60-67

Как тип обмоток должен учитываться в модели асинхронной машины

ЗАХАРЖЕВСКИЙ О.А.

Асинхронный электропривод с векторным управлением описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений. В анализе векторного управления используется модель идеализированной асинхронной машины (с синусоидальным распределением магнитной индукции в воздушном зазоре), где коэффициенты взаимной магнитной связи между обмотками рассчитываются посредством функции $\cos(\theta)$. Моделирование в MATLAB показало, что процессы существенно зависят от типа обмоток. Тип обмоток учитывается в коэффициентах взаимной магнитной связи между обмотками $k_{MA}(\theta)$. Если в уравнениях модели идеализированной асинхронной машины заменить функцию $\cos(\theta)$ на произведение $\cos(\theta)*KAa(\theta)=k_{MA}(\theta)$, то тип обмоток асинхронной машины будет учитываться поправочной функцией $KAa(\theta)$. Коэффициенты магнитной связи между обмотками (отношение магнитных потокоцеплений обмоток)

рассчитывались модифицированным методом проводимостей зубцовых контуров.

Безразмерные поправочные функции позволили уточнить векторные преобразования Кларка и Парка.

Ключевые слова: асинхронная машина, тип обмоток, модифицированные преобразования Кларка и Парка, моделирование.

Asynchronous electric drive with vector control is described by a system of nonlinear differential equations. The analysis of vector control uses a model of an idealized asynchronous machine (with a sinusoidal distribution of magnetic induction in the air gap), where the coefficients of mutual magnetic communication between the windings are calculated by means of the $\cos(\theta)$ function. Simulation in MATLAB has shown that the process significantly depends on the type of windings. The type of windings is taken into account in the coefficients of the magnetic coupling between the windings $k_{MA}(\theta)$. If the equations of the model of an idealized asynchronous machine to replace the function of $\cos(\theta)$ to the product of $\cos(\theta) * K_{Aa}(\theta) = k_{MA}(\theta)$, the windings of the asynchronous machine will be considered a correction function $K_{Aa}(\theta)$. The coefficients of the magnetic coupling between the windings (the ratio of the magnetic flux connections of the windings) were calculated by a modified method of conducting the gear contours. Dimensionless correction function, allow to specify the vector transformation of Clark and Park.

Key words: asynchronous machine, type of windings, the modified Clarke and Park transformation, modelling.

Электротехника, №9-2018, стр. 68-73

Линейные генераторы с постоянными магнитами возвратно-поступательного движения

СОКОЛОВА Е.М., МОЩИНСКИЙ Ю.А.

Рассмотрены конструктивные исполнения линейных генераторов с постоянными магнитами для электрических амортизаторов. По способу движения индуктора или якоря различают генераторы с неподвижным якорем и с неподвижным индуктором; по способу выполнения обмоток якоря генератора различают обмотки, уложенные в пазы, и беспазовые обмотки; по способу размещения постоянных магнитов на индукторе и способу их намагничивания – индукторы с магнитами, расположенными на поверхности и намагниченные радиально, и с магнитами, расположенными внутри индуктора и

намагниченными в осевом направлении. Конструкция генератора с обмоткой, расположенной в пазах якоря и магнитами на поверхности была выбрана, как наиболее оптимальная по технологии изготовления. Для исследований динамических режимов работы электрического амортизатора разработана математическая модель в пакете Matlab/Simulink. Особенность модели заключается в том, что для математического описания линейного генератора возвратно-поступательного движения, аккумулятора, характера изменения нагрузки и устройства переключения генератора с аккумулятора на балластное сопротивление используются стандартные блоки расширенной программы Simulink: модель генератора на основе электрической машины вращательного движения с постоянными магнитами, модель аккумулятора, модель задания возмущающей силы и транзистора. Для адекватного описания процессов в генераторе вращательного и поступательного движений разработана система пересчета их параметров на основе равенства механических мощностей генераторов и кинетических энергий их подвижных частей. Поскольку математические уравнения генератора, батареи и нагрузки содержатся внутри блоков, их использование позволяет достаточно просто и детально исследовать переходные процессы при различных законах изменения возмущающей силы, параметрах генератора и типах аккумулятора, так как необходимо задать только входные параметры блоков. На основе разработанной модели приведены результаты математического моделирования электрического амортизатора при воздействии ударной возмущающей силы.

Ключевые слова: электрический амортизатор, линейный генератор, постоянные магниты, математическая модель.

The design of linear generators with permanent magnets for electric shock absorbers is considered. By the method of motion of the inductor or armature distinguish: generators with a fixed armature and generators with a stationary inductor. According to the method of winding the generator armature, there are windings stacked in grooves and gapless windings. By the method of placing permanent magnets on the inductor and the method of their magnetization – inductors with magnets located on the surface and magnetized radially and with magnets, located inside the inductor and magnetized in the axial direction. The design of the generator with the winding located in the slots of the inductor and magnets on the surface was chosen as the most optimal from the point of view of the manufacturing technology. To study the dynamic modes of the electric shock absorber, a mathematical model is developed in the package Matlab / Simulink. The peculiarity of the model is that for the mathematical description of the linear

generator of reciprocating motion, the battery, the nature of the load change and the switching device of the generator from the battery to the ballast resistance, the standard blocks of the expanded Simulink program are used: the generator model based on an electric rotary motion machine with permanent magnets, model battery, the model of specifying the disturbing force and the transistor. To adequately describe the processes in the rotational and translational motion generator, a system for recalculating their parameters based on the equality of the mechanical powers of the generators and the kinetic energies of their moving parts is developed. Since the mathematical equations of the generator, batteries and loads are contained within the blocks, their use makes it possible to study rather simply and in detail the transient processes with different laws of variation of the perturbing force, generator parameters and battery types, since only input parameters of the blocks need to be set. On the basis of the developed model, the results of mathematical modeling of an electric shock absorber under the action of shock perturbing force are presented.

Key words: electric shock absorber, linear generator, permanent magnets, mathematical model.

Электротехника, №9-2018, стр. 74-76

Определение влияния способов широтно-импульсной модуляции на потери мощности в асинхронном двигателе

ГУЛЯЕВ А.В., ФОКИН Д.С., ТЕН Е.Е., МАЛЫШЕВА О.А.

Рассматривается расчет потерь мощности в системе «асинхронный двигатель – инвертор» при различных способах широтно-импульсной модуляции (ШИМ) питающего напряжения (модуляционных потерь). Определены значения модуляционных потерь мощности по результатам моделирования системы «звено постоянного тока – трехфазный двухуровневый инвертор напряжения – асинхронный двигатель – нагрузка». Определены потери мощности в системе «асинхронный двигатель – инвертор» от высших гармоник питающего напряжения с ШИМ с определением потребляемой активной мощности от звена постоянного тока при заданной механической мощности на валу асинхронного двигателя. В различных режимах ШИМ квазисинусоидального питающего напряжения механическая мощность определялась через скорость вращения и вращающий момент на валу двигателя. Данные расчеты позволяют выявить лучший коэффициент полезного действия в системе частотно-регулируемого электропривода с автономным инвертором напряжения с ШИМ для асинхронного двигателя.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, инвертор, ШИМ, потери мощности, гармоники, модуляционные потери, коэффициент полезного действия.

The calculation of the power loss in the system, "asynchronous motor (AP) – Inverter" with various methods of pulse-width modulated (PWM) voltage (modulation losses) is considered. Presented values modulation power loss simulation results of the «DC link – 3-phase 2-level voltage inverter – induction motor – load». In this paper, the computation of power losses in the system, «asynchronous motor – the inverter» of the higher harmonics of the supply voltage to the PWM with the definition of the active power consumed by the DC bus at a given value of mechanical power on the shaft of the induction motor. In various modes, the PWM voltage quasi-sinusoidal mechanical power was determined by the speed of rotation and torque on the motor shaft. These calculations can detect best coefficient of performance in the variable frequency drive with independent voltage PWM inverter for induction motor.

Key words: asynchronous motor, inverter, PWM, power loss, harmonics, modulation losses, coefficient of performance.

Электротехника, №9-2018, стр. 77-80

Исследование работы четырёхуровневого трёхфазного инвертора напряжения

КАБАЛЫК Ю.С., ШУРОВА Н.К.

Для преобразования энергии постоянного тока в энергию переменного тока наиболее часто используются статические инверторы напряжения. Такие инверторы выполняются из различных полупроводниковых ключей. В статье рассмотрены результаты исследования трёхфазного четырёхуровневого инвертора напряжения. Система управления инвертором позволяет изменять уровень выходного напряжения при изменении глубины широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Представлены графики изменения коэффициента гармонических искажений тока и напряжения на выходе инвертора в зависимости от глубины ШИМ, из которых следует, что при максимальном уровне выходного напряжения и тока, их коэффициенты гармонического искажения составляют 11,7 и 7,1%. При уменьшении уровней выходного напряжения до 55% от максимального и тока до 40% от максимального, значения этих коэффициентов возрастают до 90,9 и 21,8%. Также представлен график изменения спектра выходного тока, из которого следует, что наибольшей амплитудой обладают 5-, 11-, 13- и 25-я гармоники. Уровни этих гармоник возрастают при увеличении глубины ШИМ.

Ключевые слова: инвертор напряжения, преобразователь электроэнергии, тяговый

электрический привод, асинхронный двигатель, качество электроэнергии, коэффициент гармонических искажений, коэффициент искажения синусоидальности кривой.

In power industry for DC/AC conversion of electric energy commonly used static voltage inverter. These inverters are made of different semiconductor switches. The article discusses results of research of three-phase four-level-voltage inverter. The control system allows adjusting the level of the inverter output voltage when the depth of the pulse width modulation. Are presented graphs of the variation harmonic distortion of voltage and current at the output of inverter depending on the depth of the pulse width modulation. The graphs show that at the maximum level output voltage and current their harmonic distortion amount to 11,7 and 7,1%. By reducing the levels of the output voltage to 55% of maximum power and 40% of the maximum values of these coefficients increases to 90,9 and 21,8%. Also, a graph of the output spectrum current change, which shows that the largest amplitude have a 5-, 11-, 13- and 25th harmonics. The magnitudes of these harmonics increases with increasing depth of the pulse-width modulation.

Key words: voltage inverter, power converter, the traction electric drive, induction motor, quality of electric energy, total harmonic distortion, waveform distortion factor.