

Содержание

Электротехника, 2023, №9, стр.2-5

Алгоритмы управления и математическое моделирование интервального движения поездов

БЕСТЕМЬЯНОВ П.Ф., БАРАНОВ Л.А.

Известные системы обеспечения безопасности движения поездов предусматривают управление тормозными средствами поезда в виде экстренного торможения, которое реализуется по разомкнутому закону управления. Экстренное торможение обеспечивает безопасные условия движения поездов, однако при этом могут быть последствия, ухудшающие техническое состояние пути и подвижного состава, требующие дополнительную обточку колес и шлифование головки рельсов. Для исключения таких последствий в системе КЛУБ предусмотрен расчет на борту локомотива точки начала торможения, при котором остановка поезда осуществляется темпом служебного торможения, что усложняет аппаратно-программные устройства и требует значительные вычислительные мощности. Рассмотрен закон управления по ускорению, в котором вместо конечной скорости движения используется скорость движения первого поезда, что снижает требования к каналу передачи информации между поездами. Математическое моделирование подтвердило гипотезу о возможности управления без использования координаты впереди идущего поезда. Предложены необходимые изменения аппаратно-программных средств локомотивных устройств обеспечения безопасности.

Ключевые слова: автоматическая локомотивная сигнализация, закон управления по ускорению, интервал времени между поездами, радиоканал, рельсопроводный канал связи.

Well-known train safety systems provide for the control of train braking means in the form of emergency braking, which is implemented according to the open control law. Emergency braking provides safe conditions for the movement of trains, however, there may be consequences that worsen the technical condition of the track and rolling stock, requiring additional turning of the wheels and grinding of the rail head. To avoid such consequences, the CLUB system provides for the calculation of the braking start point on board the locomotive, at

which the train stops at the service braking rate, which complicates hardware and software devices and requires significant computing power. The acceleration control law is considered, in which the speed of the first train is used instead of the final speed, which reduces the requirements for the information transmission channel between trains. The conducted mathematical modeling confirmed the hypothesis about the possibility of control without using the coordinates of the train in front. The necessary changes to the hardware and software of locomotive safety devices are proposed.

Keywords: automatic locomotive signaling, acceleration control law, time interval between trains, radio channel, rail-line communication channel.

Электротехника, 2023, №9, стр.6-13

Принципы управления электровозом однофазно-постоянного тока с управляемыми преобразователями возбуждения

МИХАЛЬЧУК Н.Л., ПУДОВИКОВ О.Е., САВОСЬКИН А.Н., ЧУЧИН А.А.

Для управления электровозом однофазно-постоянного тока с управляемыми преобразователями возбуждения сформулированы принципы управления, которые позволяют реализовать заданные характеристики независимого или последовательного возбуждения тяговых электродвигателей. Приведенный алгоритм управления реализует поосное управление токами и силой тяги электровоза без разрыва силовой цепи тяговых электродвигателей, обеспечивая постоянство силы тяги. Представлены результаты математического моделирования по имитации работы трёхсекционного электровоза переменного тока. Предложенный алгоритм управления позволяет обеспечить плавное увеличение силы тяги электровоза до заданных значений путем последовательного включения в работу тяговых двигателей.

Ключевые слова: электровоз, тяговый двигатель, транзисторный преобразователь, управляемый преобразователь возбуждения, электромагнитные процессы, поосное управление.

To control a single-phase DC electric locomotive with controlled excitation converters, control principles have been formulated that make it possible to implement the specified characteristics of independent or sequential excitation of traction motors. The given control algorithm implements axial control of currents and traction force of an electric locomotive without breaking the power circuit of traction motors, ensuring the constancy of traction force. The

results of mathematical modeling for simulating the operation of a three-section AC electric locomotive are presented. The proposed control algorithm makes it possible to ensure a smooth increase in the traction force of the electric locomotive to the specified values by sequentially switching on the traction motors.

Keywords: electric locomotive, traction motor, transistor converter, controlled excitation converter, electromagnetic processes, axis control.

Электротехника, 2023, №9, стр.14-21

Снижение мощности цепи возбуждения тягового синхронного генератора

ЛОГИНОВА Е.Ю., ПУДОВИКОВ О.Е., ВАХРОМЕЕВА Т.О.

Предложен метод выбора параметров тягового синхронного генератора, позволяющий минимизировать затраты мощности в цепи обмотки возбуждения. Представлена модель расчета магнитной цепи тягового синхронного генератора. В модели обобщены конструктивные параметры машины и характеристики магнитных материалов ярма статора и ротора; при работе под нагрузкой учтено размагничивающее действие реакции якоря в режиме насыщения по методу Рихтера. Определение магнитодвижущей силы обмотки возбуждения базируется на численном расчете векторной диаграммы Blondel. В модели использованы относительные значения конструктивных параметров синхронного генератора. Предложенный подход позволяет на основе теории подобия электрических машин распространить полученные результаты на синхронные генераторы различной мощности. Выполненные расчеты позволили получить количественную зависимость затрат мощности на возбуждение синхронного генератора от относительных значений конструктивных параметров генератора и магнитодвижущей силы в зубцовом слое машины.

Ключевые слова: тяговый синхронный генератор, мощность цепи возбуждения, модель магнитной цепи генератора.

A method for selecting the parameters of a traction synchronous generator is proposed, which allows minimizing the power consumption in the excitation winding circuit. A model for calculating the magnetic circuit of a traction synchronous generator is presented. The model summarizes the design parameters of the machine and the characteristics of the magnetic materials of the stator and rotor yoke; when working under load, the demagnetizing effect of the armature reaction in the saturation mode according to the Richter method is taken into

account. The determination of the magnetomotive force of the excitation winding is based on the numerical calculation of the Blondel vector diagram. The relative values of the design parameters of the synchronous generator are used in the model. The proposed approach makes it possible, based on the similarity theory of electric machines, to extend the results obtained to synchronous generators of various capacities. The calculations made it possible to obtain a quantitative dependence of the power costs for the excitation of a synchronous generator on the relative values of the design parameters of the generator and the magnetomotive force in the gear layer of the machine.

Keywords: traction synchronous generator, excitation circuit power, generator magnetic circuit model.

Электротехника, 2023, №9, стр. 22-25

Адаптивный экстраполятор нестационарных случайных процессов

БАРАНОВ Л.А.

Прогнозирование случайных процессов актуально при построении систем предиктивной диагностики состояния электротехнических объектов, при планировании изменения нагрузки генерирующих энергетических установок, при построении регуляторов как составной части оператора, преобразующего рассогласование в сигналы управления. В статье рассматривается экстраполятор, параметры которого изменяются во времени с целью минимизации погрешности прогноза нестационарных случайных процессов. Экстраполятор использует многочлены Чебышева, ортогональные на множестве равноотстоящих точек с коэффициентами прогнозирующего многочлена, полученными по методу наименьших квадратов. Число точек на временной оси, в которых известно значение случайного процесса до интервала прогноза, и степень прогнозирующего многочлена изменяются во времени в зависимости от погрешности прогноза, имевшей место ранее. Проведена формализация работы экстраполятора, описан алгоритм его функционирования, рассмотрены различные правила управления механизмом изменения параметров. Результаты имитационных экспериментов свидетельствуют об эффективности использования адаптивного экстраполятора для прогноза нестационарных случайных процессов.

Ключевые слова: нестационарный случайный процесс, прогноз, экстраполятор, многочлены Чебышева, адаптация, управление экстраполятором, погрешность прогноза, порядок экстраполяции.

Prediction of random processes is relevant in the construction of systems for predictive diagnostics of the state of electrical facilities, in planning load changes of generating power plants, in the construction of regulators as an integral part of the operator that converts misalignment into control signals. The article considers an extrapolator whose parameters change over time in order to minimize the prediction error of non-stationary random processes. The extrapolator uses Chebyshev polynomials orthogonal on a set of equidistant points with coefficients of the predictive polynomial obtained by the least squares method. The number of points on the time axis in which the value of the random process is known before the forecast interval, and the degree of the predictive polynomial change over time depending on the forecast error that occurred earlier. The work of the extrapolator is formalized, the algorithm of its functioning is described, various rules for controlling the mechanism of parameter changes are considered. The results of simulation experiments indicate the effectiveness of using an adaptive extrapolator to predict non-stationary random processes.

Keywords: unsteady random process, forecast, extrapolator, Chebyshev polynomials, adaptation, extrapolator control, forecast error, extrapolation order.

Электротехника, 2023, №9, стр. 26-30

Формирование задания на потокосцепление статора синхронного двигателя с постоянными магнитами в системе прямого управления моментом

ИНЬКОВ Ю.М., КОСМОДАМИАНСКИЙ А.С., ПУГАЧЕВ А.А., ЧУПРИНА Н.В.

Показана актуальность применения синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) в тяговых электроприводах. Приведена эквивалентная схема замещения и математическая модель в координатных осях dq , вращающихся с частотой вращения ротора, для СДПМ с неравными индуктивностями статора по осям d и q . На основании приведенной модели применительно к системе прямого управления моментом СДПМ синтезирована функциональная зависимость задания на потокосцепление статора от параметров схемы замещения и потока постоянных магнитов, обеспечивающая реализацию требуемого момента с обеспечением минимума тока статора в диапазоне частот вращения ниже номинального значения. Приведена функциональная схема системы прямого управления моментом СДПМ, содержащая предложенный подход к формированию задания на потокосцепление. Проанализированы преимущества и недостатки разработанной системы управления. Приведены результаты моделирования электропривода с системой управления с постоянством задания и с формированием

задания по синтезированной функциональной зависимости. Результаты моделирования установившихся режимов работы показали экстремальный характер зависимостей тока статора и потерь мощности от потокосцепления статора, а также близость режимов минимума тока статора и потерь мощности. Результаты моделирования переходных процессов также показали эффективность разработанного формирования задания на потокосцепление статора – система управления рассчитывает задание, обеспечивающее минимум тока статора, не влияя на быстродействие и точность работы контуров регулирования момента и частоты вращения.

Ключевые слова: синхронный двигатель, постоянные магниты, потокосцепление, прямое управление моментом, потери мощности, эквивалентная схема замещения, моделирование.

The relevance of the use of synchronous motors with permanent magnets (SDPM) in traction electric drives is shown. An equivalent substitution scheme and a mathematical model in the coordinate axes dq , rotating with the rotor rotation frequency, are given for SDPM with unequal stator inductances along the axes d and q . Based on the above model, in relation to the direct torque control system of the SDPM, a functional dependence of the stator flow coupling task on the parameters of the substitution circuit and the flux of permanent magnets is synthesized, ensuring the implementation of the required torque with a minimum of the stator current in the rotation frequency range below the nominal value. A functional diagram of the direct torque control system of the SDPM is presented, containing the proposed approach to the formation of a flow coupling task. The advantages and disadvantages of the developed control system are analyzed. The results of modeling an electric drive with a control system with the constancy of the task and with the formation of a task based on a synthesized functional dependence are presented. The simulation results of steady-state operating modes showed the extreme nature of the dependences of the stator current and power losses on the flow coupling of the stator, as well as the proximity of the modes of minimum stator current and power losses. The results of transient modeling also showed the effectiveness of the developed stator flow coupling task formation – the control system calculates a task that provides a minimum of stator current without affecting the speed and accuracy of the torque and speed control circuits.

Keywords: synchronous motor, permanent magnets, flow coupling, direct torque control, power loss, equivalent replacement circuit, modeling.

Электротехника, 2023, №9, стр. 31-33

Подход к прогнозированию остаточного ресурса тягового электродвигателя электровоза

СИДОРЕНКО В.Г., КУЛАГИН М.А.

Статья посвящена разработке и оценке прогнозной модели, основанной на комбинации аналитических методов и технологий машинного обучения. Модель способна предсказывать остаточный ресурс тяговых электродвигателей (ТЭД) электровозов до непланового ремонта. Проанализированы различные параметры и характеристики ТЭД, влияющие на их остаточный ресурс. Оценка прогнозной модели показала ее достоверность. Результаты исследования позволят железнодорожным операторам совершенствовать планы технического обслуживания, повышать надежность и продолжительность работы, снижать затраты на обслуживание и ремонт.

Ключевые слова: электровозы, тяговые электродвигатели, остаточный ресурс, интеллектуальное управление, прогнозирование, машинное обучение.

The article is devoted to the development and evaluation of a predictive model based on a combination of analytical methods and machine learning technologies. The model is able to predict the residual resource of traction electric motors (TEM) of electric locomotives before unscheduled repairs. Various parameters and characteristics of TEM affecting their residual resource are analyzed. Evaluation of the forecast model showed its reliability. The results of the study will allow railway operators to improve maintenance plans, increase reliability and duration of work, reduce maintenance and repair costs.

Keywords: electric locomotives, traction motors, residual resource, intelligent control, forecasting, machine learning.

Электротехника, 2023, №9, стр. 34-39

Система управления пневматическим тормозом грузового поезда

ПУДОВИКОВ О.Е., МЕНАКЕР Г.М.

Предложена функциональная схема системы автоматического управления пневматическим тормозом грузового поезда. В качестве закона управления принят пропорционально-дифференциальный закон, дополненный составляющей, учитывающей фактическую скорость движения поезда. Приведены результаты имитационного эксперимента, выполненного методом численного моделирования. Показано, что

предложенная система обеспечивает достаточное качество управления скоростью при движении по затяжному спуску, предотвращает недопустимое превышение скорости над заданным значением, не допускает значительного снижения скорости в процессе торможения и повышает техническую скорость движения.

Ключевые слова: грузовой поезд, автоматическое управление, пневматический тормоз, управление скоростью, математическое моделирование.

The functional scheme of the automatic control system of the pneumatic brake of a freight train is proposed. A proportional-differential law has been adopted as the control law, supplemented by a component that takes into account the actual speed of the train. The results of a simulation experiment performed by numerical simulation are presented. It is shown that the proposed system provides sufficient quality of speed control when driving on a long descent, prevents an unacceptable excess of speed over a given value, does not allow a significant decrease in speed during braking and increases the technical speed of movement.

Keywords: freight train, automatic control, pneumatic brake, speed control, mathematical modeling.

Электромагнитные процессы в многопульсовых преобразователях тяговых подстанций

БАДЁР М.П. , ЕРМОЛЕНКО Д.В., КУЛИКОВ А.А.

Проведен сравнительный анализ основных энергетических характеристик многопульсовых выпрямительных агрегатов тяговых подстанций. Предложена математическая модель исследования активных потерь энергии в магнитопроводах электротехнических устройств, содержащих конструкции из ферромагнитных материалов, таких как трансформаторы, реакторы, двигатели и другие электрические машины. Исследованы потери мощности в магнитопроводах преобразовательных трансформаторов многопульсовых выпрямительно-инверторных агрегатов, которые обусловлены, в первую очередь, вихревыми токами и гистерезисом. Предложены методы учёта влияния обоих явлений (вихревых токов и гистерезиса) на уровень активных потерь. **Обоснована концепция** расчёта мгновенных индуктивностей и взаимоиндуктивностей обмоток преобразовательного трансформатора многопульсовых выпрямительно-инверторных агрегатов по картине электромагнитного поля.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения постоянного тока, многопульсовые преобразователи, потери мощности, вихревые токи, гистерезис.

A comparative analysis of the main energy characteristics of multi-pulse rectifier units of traction substations is carried out. A mathematical model is proposed for the study of active energy losses in magnetic circuits of electrical devices containing structures made of ferromagnetic materials, such as transformers, reactors, motors and other electrical machines. The power losses in the magnetic circuits of converter transformers of multi-pulse rectifier-inverter units, which are caused primarily by eddy currents and hysteresis, are investigated. Methods of accounting for the influence of both phenomena (eddy currents and hysteresis) on the level of active losses are proposed. The concept of calculating the instantaneous inductances and mutual inductances of the windings of the converter transformer of multi-pulse rectifier-inverter units based on the electromagnetic field pattern is substantiated.

Keywords: DC traction power supply system, multi-pulse converters, power losses, eddy currents, hysteresis.

Выбор мест установки накопителей энергии на тяговых подстанциях линий

метрополитена

ГРЕЧИШНИКОВ В.А., ПЛЕТНЕВ Д.С., БЕЛОВ М.Н., ШЕВЛЮГИН М.В.

Место установки накопителя энергии на тяговых подстанциях линий метрополитена или дистанций электроснабжения электрических железных дорог выбирается путем комплексного имитационного моделирования системы тягового электроснабжения с многофакторным анализом интенсивности движения, профиля пути, режимов работы накопителей, межпоездного обмена, схем соединения системы тягового электроснабжения и т.д. Расчёты выполняются многократно для больших полигонов с разными вариантами установки накопителей, что занимает длительное время. Оборудовать накопителями энергии сразу все тяговые подстанции линии метрополитена или дистанции электроснабжения невозможно из-за слишком больших затрат. При этом выбор места или мест установки накопителей энергии должен основываться на анализе взаимных влияний всех электротехнических объектов друг на друга по всей линии, которыми являются тяговые подстанции и их электротехническое оборудование, а также электроподвижной состав. Учёт и анализ взаимных влияний всех электротехнических объектов друг на друга наиболее просто можно провести только при применении матрично-топологического метода анализа электрических цепей и обобщающих параметров электрической схемы. В статье описана упрощенная методика рационального выбора места или мест установки накопителей энергии на линии метрополитена или дистанции тягового электроснабжения электрифицированных железных дорог.

Ключевые слова: метрополитен, система тягового электроснабжения, тяговая подстанция, накопители энергии, энергоэффективность, матричный метод расчёта.

The installation location of the energy storage device at traction substations of metro lines or electric railway power supply distances is selected by complex simulation of the traction power supply system with multifactor analysis of traffic intensity, track profile, storage modes, inter-train exchange, connection schemes of traction power supply system, etc. Calculations are performed repeatedly for large polygons with different options for installing storage devices, which takes for a long time. It is impossible to equip all traction substations of the metro line or power supply distances with energy storage devices at once due to too high costs. At the same time, the choice of the place or places of installation of energy storage devices should be based on an analysis of the mutual effects of all electrical facilities on each other along the entire line, which are traction substations and their electrical equipment, as well as electric rolling stock. Accounting and analysis of the mutual effects of all electrical objects on each other can be carried out most simply only when using the matrix-topological method of analyzing electrical

circuits and generalizing parameters of the electrical circuit. The article describes a simplified method of rational choice of the place or places of installation of energy storage devices on the subway line or the distance of traction power supply of electrified railways.

Keywords: metro, traction power supply system, traction substation, energy storage, energy efficiency, matrix calculation method.

Электротехника, 2023, №9, стр. 51-54

Помехи от гармоник тягового тока в рельсах на системы автоматической локомотивной сигнализации и рельсовые цепи

ШАМАНОВ В.И., ДЕНЕЖКИН Д.В.

Приведены результаты исследования зависимостей асимметрии первой и третьей гармоник переменного тягового тока под приемными локомотивными катушками систем автоматической локомотивной сигнализации АЛСН и АЛС-ЕН от вида асимметрии сопротивлений однородных рельсовых линий в пределах рельсовой цепи. Исследовано изменение асимметрии первой гармоники тягового тока по длине рельсовой цепи при отсутствии на ней подвижного состава. Установлено, что разность численных значений в распределениях асимметрии первой и третьей гармоники по длине рельсовых линий относительно невелика, однако при прочих равных условиях уровень помех от тягового тока на частоте третьей гармоники тягового тока под катушками АЛС-ЕН меньше, чем от тока первой гармоники под катушками АЛСН. Причина этого состоит в том, что в общей величине тягового тока третья гармоника не превышает обычно 20%. При отсутствии на рельсовой цепи подвижного состава асимметрия первой гармоники тягового тока может увеличиваться или уменьшаться по мере протекания тягового тока от начала к концу рельсовой цепи в зависимости от вида асимметрии сопротивлений рельсовых линий, поэтому делать какие-либо выводы о предпочтительном месте установки приемников сигналов рельсовых цепей некорректно.

Ключевые слова: рельсовые цепи, тяговые токи, системы автоматической локомотивной сигнализации, помехи от гармоник тягового тока.

The results of the study of the dependences of the asymmetry of the first and third harmonics of the alternating traction current under the receiving locomotive coils of the automatic locomotive signaling systems ALSN and ALS-EN on the type of asymmetry of the resistances of homogeneous rail lines within the rail chain are presented. The change in the asymmetry of the first harmonic of the traction current along the length of the rail chain in the absence of rolling

stock on it is investigated. It is established that the difference in numerical values in the asymmetry distributions of the first and third harmonics along the length of the rail lines is relatively small, however, other things being equal, the level of interference from the traction current at the frequency of the third harmonic of the traction current under the ALS-EN coils is less than from the current of the first harmonic under the ALSN coils. The reason for this is that in the total value of the traction current, the third harmonic does not usually exceed 20%. In the absence of rolling stock on the rail chain, the asymmetry of the first harmonic of the traction current may increase or decrease as the traction current flows from the beginning to the end of the rail chain, depending on the type of asymmetry of the resistances of the rail lines, therefore it is incorrect to draw any conclusions about the preferred installation location of the receivers of the signals of the rail circuits.

Keywords: rail circuits, traction currents, automatic locomotive signaling systems, interference from traction current harmonics.

Электротехника, 2023, №9, стр. 55-60

Повышение радиационной стойкости цепи обратной связи в изолированных источниках вторичного электропитания

ТАТУЙКО П.С., ИНЬКОВ Ю.М., ФЕДЯЕВА Г.А., БЕЛОВА М.П., ГРИЦАЕНКО Д.И., КОТОВА Д.В.

Стабильная работа модулей контроля и управления электротехнических систем авиационного и космического назначения, объектов атомной промышленности, а также специальной техники напрямую зависит от качества электропитания, к которому они подключены. В статье приведены результаты исследований работы цепи обратной связи в составе изолированных источников вторичного электропитания при воздействии радиационного излучения, зависимости выходного напряжения от поглощенной дозы радиации, а также представлены варианты реализации цепи обратной связи, позволяющие добиться существенного повышения уровня стойкости к воздействию специальных внешних факторов.

Ключевые слова: источник вторичного электропитания, цепь обратной связи, радиационная стойкость, поглощенная доза радиации.

The stable operation of control and control modules of electrical systems for aviation, space, nuclear industry facilities, as well as special equipment directly depends on the quality of the power supply to which they are connected. This article presents the results of studies of the

operation of the feedback circuit as part of isolated secondary power sources under the influence of radiation radiation, the dependence of the output voltage on the absorbed dose, and also presents options for the implementation of the feedback circuit, allowing to achieve a significant increase in the level of resistance to special external factors.

Keywords: secondary power supply source, feedback circuit, radiation resistance, absorbed radiation dose.

Электротехника, 2023, №9, стр. 61-67

Амплитудно-частотный спектр тока как инструмент идентификации режима работы системы тягового электроснабжения

ПИНЧУКОВ П.С., МАКАШЕВА С.И.

На примере анализа амплитудно-частотных спектров тока фидера контактной сети переменного тока выполнен анализ изменения гармонических составляющих с течением времени в режимах нормальной работы и короткого замыкания. Выявленные закономерности изменения постоянной составляющей амплитудно-частотного спектра тока фидера контактной сети позволили подтвердить гипотезу о возможности их использования в качестве нового инструмента для идентификации нормального и аварийного режимов тяговой сети переменного тока. Предложено использовать два новых идентификационных параметра: максимальное значение амплитуды постоянной составляющей приращение амплитуды постоянной составляющей.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения, фидер контактной сети, форма кривой тока, гармоническая составляющая, автоматическая система мониторинга.

Using the example of the analysis of the amplitude-frequency spectra of the current of the feeder of the AC contact network, the analysis of changes in harmonic components over time in normal operation and short circuit modes is performed. The revealed patterns of changes in the constant component of the amplitude-frequency spectrum of the contact network feeder current allowed us to confirm the hypothesis about the possibility of their use as a new tool for identifying normal and emergency modes of the AC traction network. It is proposed to use two new identification parameters: the maximum value of the amplitude of the constant component and the increment of the amplitude of the constant component.

Keywords: traction power supply system, contact network feeder, current curve shape, harmonic component, automatic monitoring system.

Особенности конструкции коммутационного аппарата с повышенной динамической стойкостью при использовании высокоэффективных самарий-кобальтовых магнитов

ГОЛОВЕНКИН В.А., ИШУТИНОВ В.В., АБРАМОВ А.А.

Рассмотрена возможность совершенствования разработанной ранее конструкции магнитной системы авиационного коммутационного аппарата. Рассмотрены конструкция и характеристики коммутационного аппарата с высокоэффективными самарий-кобальтовыми магнитами. Проанализирована конструкция поляризованной магнитной системы с уравновешенным якорем, описан ее принцип действия. Подобраны электротехнические материалы, определены зависимости электромагнитного момента от размеров постоянного магнита и зависимости МДС срабатывания от электромагнитного момента, исследовано быстрдействие магнитной системы при срабатывании и возврате. Исследования выполнены путем аналитического расчета и компьютерного моделирования в системах автоматизированного проектирования Solid Edge и ANSYS, основанных на системе твердотельного 3D-моделирования и методе конечных элементов, соответственно.

Ключевые слова: коммутационный аппарат, постоянный магнит, балансированный якорь, динамическая стойкость.

The possibility of improving the previously developed design of the magnetic system of the aircraft switching device is considered. The design and characteristics of a switching device with highly efficient samarium-cobalt magnets are considered. The design of a polarized magnetic system with a balanced anchor is analyzed, its principle of operation is described. Electrical materials were selected, the dependences of the electromagnetic moment on the size of the permanent magnet and the dependence of the MDS of operation on the electromagnetic moment were determined, the speed of the magnetic system during operation and return was investigated. The research was carried out by analytical calculation and computer modeling in the computer-aided design systems Solid Edge and ANSYS, based on the solid-state 3D modeling system and the finite element method, respectively.

Keywords: switching device, permanent magnet, balanced armature, dynamic stability.

Амплитудно-импульсная модуляция с дискретным квантованием параметров формируемых ступеней

АВДЗЕЙКО В.И., РУЛЕВСКИЙ В.М.

Рассмотрены способы амплитудно-импульсной модуляции при различных вариантах квантования параметров формируемых ступеней. Предложено классифицировать разновидности модуляции по способам изменения параметров ступеней: с квантованием формируемых ступеней по времени, квантованием по уровню, «оптимальном» квантовании по времени и уровню, и «полном» квантовании амплитуды и длительности ступеней с фиксированными шагами квантования. «Полное» квантование осуществляется в схемах инверторов, выходные напряжения которых формируются при суммировании нескольких напряжений отдельных ячеек с высокой промежуточной частотой промежуточного преобразования, а соотношение их выходных напряжений выбирается по единичному, двоичному или троичному коду. В качестве критерия качества формируемой кривой использовался коэффициент искажения синусоидальности. Сравнительный анализ способов модуляции показал, что «полное» квантование незначительно уступает известным способам при существенном упрощении силовой части инвертора. При формировании количества уровней более шести все сравниваемые способы обеспечивают значение коэффициента несинусоидальности менее 8%, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 13109-97.

Ключевые слова: амплитудно-импульсная модуляция, дискретное квантование параметров формируемых ступеней, коэффициент несинусоидальности.

The methods of pulse-amplitude modulation with various variants of quantization of the parameters of the formed stages are considered. It is proposed to classify the types of modulation according to the methods of changing the parameters of the steps: with quantization of the formed steps by time, quantization by level, «optimal» quantization by time and level, and «full» quantization of the amplitude and duration of the steps with fixed quantization steps. «Full» quantization is carried out in inverter circuits, the output voltages of which are formed by summing several voltages of individual cells with a high intermediate frequency of intermediate conversion, and the ratio of their output voltages is selected by a single, binary or ternary code. The sinusoidal distortion coefficient was used as a criterion for assessing the quality of the curve being formed. A comparative analysis of the modulation methods showed that the «full» quantization is slightly inferior to the known methods with a significant simplification of the power part of the inverter. When forming the number of levels of more than six, all the compared

methods provide a non-sinusoidal coefficient value of less than 8%, which meets the requirements of GOST 13109-97.

Keywords: pulse-amplitude modulation, discrete quantization of the parameters of the formed stages, the coefficient of non-sinusoidality.

Электротехника, 2023, №9, стр. 80-81

Авторы номера

Электротехника, 2023, №9, стр. 82-83

Лев Николаевич Макаров

(К 85-летию со дня рождения)