

Содержание

Электротехника, 2025, №9, стр. 2-7

Повышение эффективности работы электротехнической системы обратной тяговой рельсовой сети

ГОРЕЛИК А.В., ГРИШЕЧКО С.В., ЛУНЕВ С.А., МАКСИМОВ Н.А., СПЕРАНСКИЙ Д.В.

Статья посвящена совершенствованию схем канализации обратного тягового тока в системе тягового электроснабжения железнодорожного транспорта. Для снижения негативного влияния обратного тягового тока на работу электрических рельсовых цепей железнодорожной автоматики предложено применение в обратной тяговой рельсовой сети фильтрующего устройства, выполненного на основе дроссель-трансформатора серийного производства. Сформулированы показатели для оценки возможности такого применения. Даны рекомендации по реализации предложенного решения с целью снижения непроизводительных потерь электроэнергии в электротехнической системе тягового электроснабжения и обеспечения безопасности движения поездов.

Ключевые слова: электрические рельсовые цепи, дроссель-трансформатор, обратная тяговая рельсовая сеть, четырехполюсник.

The article is devoted to the improvement of reverse traction current sewerage schemes in the traction power supply system of railway transport. In order to reduce the negative effect of reverse traction current on the operation of electric rail circuits of railway automation, it is proposed to use a filtering device based on a mass-produced choke transformer in the reverse traction rail network. Indicators have been formulated to assess the possibility of such an application. Recommendations are given on the implementation of the proposed solution in order to reduce unproductive losses of electricity in the electrical traction power supply system and ensure train safety.

Key words: electric rail circuits, choke transformer, reverse traction rail network, four-pole.

Методы и алгоритмы интервального регулирования движения высокоскоростных поездов

БЕСТЕМЬЯНОВ П.Ф.

Линейная дистанция между высокоскоростными поездами при скорости движения 360 км/час достигает 60 км при 10 минутном интервале движения. При такой линейной дистанции тормозной путь поезда на порядок меньше линейной дистанции, что позволяет упростить систему интервального регулирования. Предлагается в этом случае использовать принцип полуавтоматической блокировки. При уменьшении интервала движения между поездами до 2–3 мин тормозной путь поезда становится соизмерим с линейной дистанцией. Как показало моделирование, организация движения с регулятором на борту локомотива, использующим закон управления по ускорению, позволяет обеспечить безопасность движения поездов в аварийных ситуациях, когда впереди идущий поезд практически мгновенно останавливается (скорость движения равна нулю, имитация схода поезда). Рассмотренный закон управления также позволяет обеспечить устойчивость движения нескольких поездов, движущихся с минимальным интервалом; в частности моделировалось движение пяти поездов. Система управления поездами должна предусматривать возможность аварийных остановок поездов и обеспечивать реконфигурацию на больший интервал для обеспечения безопасности движения поездов.

Ключевые слова: высокоскоростной поезд, автоматическая локомотивная сигнализация, закон управления по ускорению, интервал времени между поездами, радиоканал, рельсопроводный канал связи, полуавтоматическая блокировка, устойчивость движения поездов.

The linear distance between high-speed trains at a speed of 360 km/hour reaches 60 km with a 10-minute travel interval. With such a linear distance, the braking distance of the train is an order of magnitude smaller than the linear distance, which simplifies the interval control system. In this case, it is proposed to use the principle of semi-automatic locking. When the travel interval between trains is reduced to 2-3 minutes, the stopping distance of the train becomes commensurate with the linear distance. As the simulation showed, the organization of movement with a regulator on board the locomotive, using the acceleration control law,

makes it possible to ensure train safety in emergency situations when the train in front stops almost instantly (the speed is zero, simulating a train derailment). The considered control law also makes it possible to ensure the stability of the movement of several trains moving at a minimum interval; in particular, the movement of five trains was simulated. The train management system should provide for the possibility of emergency stops of trains and ensure reconfiguration for a longer interval to ensure train safety.

Key words: high-speed train, automatic locomotive signaling, acceleration control law, time interval between trains, radio channel, rail-line communication channel, semi-automatic blocking, train stability.

Электротехника, 2025, №9, стр. 14-19

Методика анализа функционирования регулятора скорости электроподвижного состава при случайном возмущении

БАРАНОВ Л.А., ПУДОВИКОВ О.Е., ЛЕГКАЯ В.И.

Рассмотрена методика анализа качества управления системы автоматического управления скоростью при наличии возмущения в виде случайного профиля пути, представленного как стационарный Гауссовский процесс с известными автокорреляционной функцией и спектральной плотностью. Осуществлен выбор формирующего фильтра, необходимого для получения случайной функции с заданными статистическими параметрами. Проведено моделирование работы системы автоматического управления скоростью при движении по одной из полученных реализаций случайного профиля пути с дальнейшим анализом полученных результатов.

Ключевые слова: возмущение, качество управления, ПИ закон управления, показатели качества, скоростной электропоезд, стационарный случайный процесс, формирующий фильтр, цифровые автоматические системы управления.

A method for analyzing the control quality of an automatic speed control system in the presence of a disturbance in the form of a random path profile, represented as a stationary Gaussian process with a known autocorrelation function and spectral density, is considered. The choice of the forming filter necessary to obtain a random function with the specified statistical parameters is carried out. A simulation of the operation of an automatic speed control system when driving along one of the obtained implementations of a random path

profile is carried out with further analysis of the results obtained.

Key words: disturbance, control quality, PI control law, quality indicators, high-speed electric train, stationary random process, forming filter, digital automatic control systems.

Электротехника, 2025, №9, стр. 20-25

Тяговый ток в рельсовых линиях как источник информации об изломе рельса
ШАМАНОВ В.И., ДЕНЕЖКИН Д.В.

Для обнаружения излома рельсов используют различные сигнальные токи, например, ток рельсовых цепей. В то же время на участках с электротягой при движении поездов в рельсовых линиях всегда есть тяговый ток, который можно использовать в качестве сигнального тока. Сигналом о возникновении излома рельсов может быть скачкообразное увеличение асимметрии тягового тока. В статье приведены некоторые результаты исследований того, как изменяется асимметрия первой и третьей гармоник переменного тягового тока на концах рельсовой цепи при изломе рельса. Исследования проведены при разных длинах рельсовых цепей, при разных значениях тягового тока в рельсовой линии и при разных видах асимметрии сопротивлений рельсовых нитей в ней. Показано, что излом рельса резко увеличивает относительную асимметрию переменного тягового тока на концах рельсовых цепей. Показано, что этот способ обеспечивает своевременность и достоверность обнаружения излома рельса.

Ключевые слова: рельсовые линии, излом рельсов, распределение тягового тока, автоматический контроль.

Various signal currents, for example, the current of rail circuits, are used to detect the fracture of rails. At the same time, in areas with electric traction, there is always a traction current in the rail lines that can be used as a signal current. An abrupt increase in the asymmetry of the traction current may be a signal of the occurrence of a rail fracture. The article presents some results of studies of how the asymmetry of the first and third harmonics of alternating traction current at the ends of a rail circuit changes when the rail breaks. The studies were carried out at different lengths of rail circuits, at different values of the traction current in the rail line and at different types of asymmetry of the resistances of the rail threads in it. It is shown that the fracture of the rail dramatically increases the relative asymmetry of the alternating traction

current at the ends of the rail circuits. It is shown that this method ensures timely and reliable detection of a rail fracture.

Key words: rail lines, rail breakage, traction current distribution, automatic control.

Электротехника, 2025, №9, стр. 25-31

Энергетически эффективный электропривод с системой векторного управления синхронным реактивным двигателем

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

Приведены результаты анализа перспективных направлений разработки и исследования тяговых электроприводов, показана актуальность применения синхронных реактивных двигателей (СРД). Приведено математическое описание СРД в двухфазной системе координат, вращающейся синхронно с ротором. Синтезирована система векторного управления СРД, выведены передаточные функции замкнутых контуров регулирования двух проекций токов обмотки статора, даны рекомендации по расчету регуляторов тока и частоты вращения. Получены аналитические формулы задания на проекции токов обмотки статора в функции задания на электромагнитный момент, применение которых позволяет минимизировать ток обмотки статора во всем диапазоне изменения частоты вращения. Приведены результаты компьютерного моделирования электропривода с двигателем мощностью 102 кВт, подтверждающие работоспособность предложенных решений по минимизации тока. Установлено, что в зоне постоянства момента выбором оптимальных заданий на токи обмотки статора можно добиться уменьшения тока статора на 29,7% по сравнению с режимом работы с постоянным заданием на проекцию тока обмотки статора на ось d при уменьшении нагрузки ниже номинального значения. В зоне постоянства мощности эффект уменьшения тока пренебрежимо мал по сравнению с классическим вариантом системы векторного управления. Дана сравнительная оценка полученных результатов с результатами исследования других систем управления СРД и синхронных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов.

Ключевые слова: синхронный реактивный двигатель, система векторного управления, минимизация тока, постоянство момента, постоянство мощности, компьютерное моделирование.

The results of the analysis of promising areas of development and research of traction electric drives are presented, the relevance of the use of synchronous jet engines (SJE) is shown. A mathematical description of the SJE in a two-phase coordinate system rotating synchronously with the rotor is given. The SJE vector control system is synthesized, the transfer functions of closed circuits for regulating two projections of stator winding currents are derived, and recommendations for calculating current and speed regulators are given. Analytical formulas for specifying the projections of stator winding currents in the function of specifying the electromagnetic moment have been obtained, the use of which makes it possible to minimize the current of the stator winding over the entire frequency range. The results of computer simulation of an electric drive with a 102 kW motor are presented, confirming the operability of the proposed solutions for minimizing current. It is established that in the zone of moment constancy, by choosing the optimal settings for the stator winding currents, it is possible to reduce the stator current by 29.7% compared with the operating mode with a constant setting for the projection of the stator winding current onto the d axis while reducing the load below the nominal value. In the zone of constant power, the effect of current reduction is negligible compared to the classical version of the vector control system. A comparative assessment of the results obtained is given with the results of the study of other control systems for remote control systems and synchronous motors with excitation from permanent magnets.

Key words: synchronous jet engine, vector control system, current minimization, torque constancy, power constancy, computer simulation.

Электротехника, 2025, №9, стр. 32-39

Расчёт больших электрических схем путем параллельного расчёта подсхем

ГРЕЧИШНИКОВ В. А., ЦЕГЛОВ Р.В., КОРОЛЬ Ю.Н., ГАВРИКОВ В.Г.

Моделирование систем тягового электроснабжения выполняется для больших полигонов электрифицированных железных дорог – магистральных электрических железных дорог или линии в целом для метрополитенов. Возможности вычислительной техники и теоретические наработки позволяют рассчитывать квазиустановившиеся режимы с приемлемым временем ожидания, однако спектр задач для программных комплексов по расчёту систем тягового электроснабжения увеличивается, необходимы

расчёты переходных процессов и электромагнитной совместимости, учёт реального напряжения на токоприёмнике электроподвижного состава, расчёт аварийных режимов с учётом глухих и дуговых коротких замыканий и т.д., что позволит решать задачи, связанные с выбором адекватной уставки защитных устройств, с оценкой влияния генераторных режимов работы электроподвижного состава на отключающую способность быстродействующих выключателей, безопасностью прохождения электровоза изолирующего сопряжения под током, расчётом необходимой мощности реактора и параметров фильтр-устройств и т.д. При таких условиях расчёт вновь становится трудоёмкой вычислительной задачей. Возможности повышения скорости расчётов кроются в применении параллельных вычислений, когда увеличение скорости расчётов происходит как за счёт одновременного выполнения нескольких расчётов, так и за счёт того, что общий большой объём данных делится на части и обрабатывается в нескольких параллельных расчётах, то есть происходит уменьшение объёма расчётных данных для каждого из параллельно выполняемых расчётов. Такой подход применим и при расчётах электрических схем. В статье приводится описание методики ускорения расчётов электрических схем путем параллельного расчёта подсхем на примере четырёхфазного повышающего полупроводникового преобразователя с плавающим чередованием.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения, тяговая подстанция, расчет электрических схем, способ параллельных вычислений, метод пространства состояний, метод узловых потенциалов.

Modeling of traction power supply systems is performed for large landfills of electrified railways – mainline electric railways or the line as a whole for subways. Computing capabilities and theoretical developments make it possible to calculate quasi-steady-state modes with an acceptable waiting time, however, the range of tasks for software systems for calculating traction power supply systems is increasing, calculations of transients and electromagnetic compatibility are needed, taking into account the actual voltage at the pantograph of electric vehicles, calculating emergency modes taking into account blind and arc short circuits, etc., which will allow solving tasks related to the selection of an adequate setpoint of protective devices, with an assessment of the influence of the generator modes of operation of electric rolling stock on the breaking capacity of high-speed switches, the safety of passage of the electric locomotive of the insulating coupling under current, the calculation of the required reactor power and filter device parameters, etc. Under such conditions, the

calculation again becomes a laborious computational task. The possibilities of increasing the speed of calculations lie in the use of parallel calculations, when an increase in the speed of calculations occurs both due to the simultaneous execution of several calculations, and due to the fact that the total large amount of data is divided into parts and processed in several parallel calculations, that is, there is a decrease in the amount of calculated data for each of the calculations performed in parallel. This approach is also applicable to the calculation of electrical circuits. The article describes a technique for accelerating the calculations of electrical circuits by parallel calculation of subcircuits using the example of a four-phase step-up semiconductor converter with floating alternation.

Key words: traction power supply system, traction substation, calculation of electrical circuits, parallel computing method, state space method, nodal potential method.

Электротехника, 2025, №9, стр. 40-47

Моделирование асинхронного двигателя методом переменных пространства состояний

ЩЕГЛОВ Р.В., БЕЛЕЦКИЙ С.В., ШЕВЛЮГИН М.В., ГРЕЧИШНИКОВ В.А.

Рассмотрено моделирование асинхронного двигателя методом переменных пространства состояний, адекватность предложенного метода показана с помощью расчётов энергетической установки электроподвижного состава. Показано, что такой подход может быть применён для расчётов системы тягового электроснабжения с подробным воспроизведением преобразовательных систем и систем тягового электропривода.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, расчёт электрических схем, моделирование, уравнения пространства состояний, электроподвижной состав, система тягового электроснабжения.

The simulation of an asynchronous motor by the method of state space variables is considered, the adequacy of the proposed method is shown by calculations of the power plant of an electric rolling stock. It is shown that this approach can be applied to calculations of a traction power supply system with a detailed reproduction of converter systems and traction drive systems.

Key words: asynchronous motor, calculation of electrical circuits, modeling, equations of the state space, electric rolling stock, traction power supply system.

Электротехника, 2025, №9, стр.48-52

Оценка энергоемкости теплового накопителя энергии на тяговой подстанции метрополитена для приема избыточной энергии рекуперации

ШЕВЛЮГИН М.В., ОГАНОВ С.В., ЕРМОЛЕНКО Д.В.

Рассмотрена задача определения энергоемкости теплового накопителя энергии (ТНЭ), установленного на тяговой подстанции метрополитена, для приема избыточной энергии рекуперации при торможении электроподвижного состава (ЭПС). Описано распределение тока рекуперации ЭПС – на тягу других ЭПС, собственные нужды ЭПС, а также на тормозные реостаты ЭПС. Перечислены основные технические решения для приема избыточной энергии рекуперации в виде различного рода накопителей энергии, приведены аргументы в пользу ТНЭ благодаря их простоте, высокой мощности и энергоемкости, сравнительно невысокой цене. Описан принцип действия ТНЭ и возможные типы хладагента для аккумулирующего элемента накопителя, в том числе, с теплоемким фазовым переходом. Получены зависимости тока тяговой подстанции, а также тока, напряжения и принимаемой энергии емкостного накопителя энергии в функции времени. Предложены математические выражения для определения составляющих энергий ТНЭ в зависимости от времени суток, текущего запаса энергии ТНЭ в режиме реального времени с учетом начального (минимального) уровня запаса энергии, а также с учетом приема избыточной энергии рекуперации и параллельного процесса передачи энергии в теплотрассу. Определено, что в условиях функционирования ТНЭ, с учетом средней мощности обогрева помещений, равной 75 кВт, общая энергоемкость ТНЭ должна составлять около 4000 МДж.

Ключевые слова: тяговая сеть метрополитена, система тягового электроснабжения, энергия рекуперации, тепловой накопитель энергии.

The problem of determining the energy intensity of a thermal energy storage device (TPE) installed at a metro traction substation for receiving excess energy recovery during braking of an electric rolling stock (EPS) is considered. The distribution of the EPS recovery current is described – for the thrust of other EPS, the EPS' own needs, as well as for EPS braking rheostats. The main technical solutions for receiving excess energy recovery in the form of

various kinds of energy storage devices are listed, arguments in favor of TPE are given due to their simplicity, high power and energy intensity, and relatively low price. The principle of operation of TPE and possible types of refrigerant for the storage element of the storage tank, including those with a heat-intensive phase transition, are described. The dependences of the current of a traction substation, as well as the current, voltage, and received energy of a capacitive energy storage device as a function of time are obtained. Mathematical expressions are proposed for determining the components of the TPE energy depending on the time of day, the current TPE energy reserve in real time, taking into account the initial (minimum) energy reserve level, as well as taking into account the intake of excess energy recovery and the parallel process of energy transfer to the heating main. It is determined that under the operating conditions of the TPE, taking into account the average heating capacity of 75 kW, the total energy consumption of the TPE should be about 4000 MJ.

Key words: traction network of the subway, traction power supply system, energy recovery, thermal energy storage.

Электротехника, 2025, №9, стр. 52-57

Система распределенного электроснабжения моторных приводов собственных нужд метрополитена от тяговой сети

БЕЛЕЦКИЙ С.В., ГРЕЧИШНИКОВ В.А., ЕРМОЛЕНКО Д.В., ШЕВЛЮГИН М.В.

Рассмотрена возможность питания потребителей собственных нужд от тяговой сети метрополитена. Показано, что технико-экономический эффект от предлагаемого решения будет складываться за счет снижения избыточной энергии рекуперации при торможении поездов, снижения потерь энергии при электроснабжении нетяговых потребителей токоведущими средствами более высокого сечения и на более высоком напряжении, повышения качества электроснабжения по напряжению за счет использования управляемых преобразователей энергии, повышения надежности электроснабжения. Представлен реальный участок электроэнергетической системы «Сокольнической» линии Московского метрополитена в пределах одной межподстанционной зоны с расположением тяговых и понизительных подстанций, а также электроэнергетических связей между ними с целью оценки локационных параметров питания потребителей собственных нужд. Представлена принципиальная схема предлагаемой распределенной системы питания некоторых потребителей

собственных нужд от тяговой сети метрополитена, на которой отражены существующий и предлагаемый варианты электроснабжения. Выведены зависимости определения суточных потерь энергии в кабеле при питании существующей линией 0,4 кВ и питании от тяговой сети 825 В, распределения долей тока рекуперации на потребление тяговой нагрузки и собственных нужд электроподвижного состава, а также снижения избыточной энергии рекуперации в тормозных реостатах. По предварительной оценке при использовании предлагаемой системы распределенного питания от тяговой сети за счет снижения избыточной энергии рекуперации, можно сэкономить дополнительно еще 3-7% энергии, идущей на тягу поездов, а также снизить потери энергии в подводящих линиях на 87,5%.

Ключевые слова: метрополитен, система тягового электроснабжения, тяговая сеть, потребители собственных нужд, энергосбережение.

The possibility of supplying consumers with their own needs from the traction network of the subway is considered. It is shown that the technical and economic effect of the proposed solution will be achieved by reducing excess energy recovery during train braking, reducing energy losses during power supply to non-traction consumers with current-carrying means of a higher cross-section and at a higher voltage, improving the quality of voltage power supply through the use of controlled energy converters, and improving the reliability of power supply. The real section of the Sokolnicheskaya electric power system of the Moscow Metro line is presented within one inter-substation zone with the location of traction and step-down substations, as well as electric power connections between them in order to assess the location parameters of power supply for consumers of their own needs. A schematic diagram of the proposed distributed power supply system for some consumers of their own needs from the traction network of the subway is presented, which reflects the existing and proposed power supply options. The dependences of determining the daily energy losses in a cable when powered by an existing 0.4 kV line and powered by an 825 V traction network, the distribution of the proportions of the recovery current for the consumption of the traction load and the own needs of the electric rolling stock, as well as the reduction of excess energy recovery in brake rheostats are derived. According to preliminary estimates, when using the proposed distributed power supply system from the traction network by reducing excess energy recovery, it is possible to save an additional 3-7% of the energy used to pull trains, as well as reduce energy losses in the supply lines by 87.5%.

Key words: subway, traction power supply system, traction network, consumers of their own needs, energy saving.

Электротехника, 2025, №9, стр. 58-65

Мощность, работа и энергия электрической и механической колебательных систем

САВОСЬКИН А.Н., ДУДИН Б.А.

На примере системы с одной степенью свободы рассмотрены способы расчёта энергетических характеристик колебательных процессов в электрических и механических системах. Для анализа использован аппарат частотных характеристик, обобщённых гармонических сигналов, а также способы анализа электрических систем. Определены аналитические выражения для активной и реактивной мощности внешней и внутренних сил, обеспечивающие условие баланса мощностей колебательной системы. Показано, что коэффициенты мощности и реактивной мощности системы зависят от частоты и затухания в системе. Предложено задачу оптимизации параметров системы рассматривать как задачу минимизации её активной мощности.

Ключевые слова: колебательная система, активная и реактивная мощности, энергия, работа, коэффициент мощности, коэффициент реактивной мощности, баланс мощностей.

Using the example of a system with one degree of freedom, methods for calculating the energy characteristics of oscillatory processes in electrical and mechanical systems are considered. The analysis uses the apparatus of frequency characteristics, generalized harmonic signals, as well as methods for analyzing electrical systems. Analytical expressions for the active and reactive power of external and internal forces are determined, providing a condition for balancing the power of the oscillatory system. It is shown that the coefficients of power and reactive power of the system depend on the frequency and attenuation in the system. It is proposed to consider the problem of optimizing the system parameters as a problem of minimizing its active power.

Key words: oscillatory system, active and reactive power, energy, work, power factor, reactive power factor, power balance.

Электротехника, 2025, №9, стр. 66-73

Интеллектуальная автоматизированная система прогнозирования износа контактной сети на электрифицированных полигонах магистральных железных дорог

ИКОННИКОВ А.С., САФРОНОВ А.И.

Рассмотрены вопросы диагностики состояния элементов контактной сети. Проведён анализ элементов контактной сети, выявлены факторы, приводящие к деградации контактной сети, определено множество измеряемых параметров, выступающих в качестве индикаторов, сигнализирующих о близости недопустимого износа звеньев инфраструктуры железнодорожного энергоснабжения и способствующих своевременному планированию ремонтно-восстановительных работ. Определены взаимное влияние измеряемых параметров контактной сети и их влияние на работоспособность контактной сети. Подготовлена выборка данных для обучения искусственной нейронной сети, предназначенной для предиктивной диагностики степени износа контактной сети.

Ключевые слова: магистральные железные дороги, износ контактной сети, интеллектуальная автоматизированная система прогнозирования, технология vehicle-to-everything, сбор и обработка данных.

The issues of diagnostics of the state of the elements of the contact network are considered. The analysis of the elements of the contact network has been carried out, the factors leading to the degradation of the contact network have been identified, and a variety of measurable parameters have been identified that signal the proximity of unacceptable wear of the railway power supply infrastructure and contribute to the timely planning of repair and restoration work. The mutual influence of the measured parameters of the contact network and their effect on the operability of the contact network are determined. A sample of data has been prepared for training an artificial neural network designed for predictive diagnostics of the degree of wear of the contact network.

Key words: mainline railways, wear of the contact network, intelligent automated forecasting system, vehicle-to-everything technology, data collection and processing.

Электротехника, 2025, №9, стр. 74-86

Прямое управление моментом четырехфазного тягового вентильно-индукторного электропривода с максимальным использованием напряжения силового источника питания

КРАСОВСКИЙ А.Б., ВАСЮКОВ С.А.

Рассмотрены возможности использования прямого управления мгновенным моментом вентильно-индукторного двигателя для тяговых электроприводов. Выявлены причины, по которым при обычной разбивке в системе управления одного оборота ротора на восемь равных секторов, ограничение пульсаций момента возможно только в относительно небольшом диапазоне малых скоростей, а для его расширения необходимо чрезмерное увеличение напряжения силового источника питания. Обоснована целесообразность увеличения количества секторов до 12 при соответствующем изменении их угловых размеров. Угловые положения начала переключения смежных фаз предложено изменять в зависимости от заданного значения момента и скорости двигателя. Предложенные меры позволяют обеспечить корректную работу алгоритма компенсации пульсаций момента при любых сочетаниях заданных значений момента и скорости двигателя в пределах их номинальных значений при дополнительном запасе по напряжению силового источника питания не более 10%. Эффективность предложенных решений подтверждена имитационным моделированием в среде MATLAB Simulink.

Ключевые слова: вентильно-индукторный двигатель, пульсации момента, прямое управление моментом, напряжение силового источника питания, положение начала переключения фаз, результаты моделирования.

The possibilities of using direct control of the instantaneous torque of a valve-inductor motor for traction electric drives are considered. The reasons have been identified why, with the usual breakdown of one rotor revolution into eight equal seconds in the control system, the limitation of torque pulsations is possible only in a relatively small range of low speeds, and for its expansion, an excessive increase in the voltage of the power supply is necessary. The expediency of increasing the number of sectors to 12 with a corresponding change in their

angular dimensions is substantiated. It is proposed to change the angular positions of the start of switching adjacent phases depending on the setpoint of the torque and the speed of the motor. The proposed measures make it possible to ensure the correct operation of the torque ripple compensation algorithm for any combination of set torque and motor speed values within their nominal values with an additional voltage margin of no more than 10% for the power supply. The effectiveness of the proposed solutions is confirmed by simulation modeling in the MATLAB Simulink environment.

Key words: valve-inductor motor, torque pulsations, direct torque control, voltage of the power supply source, the position of the start of phase switching, simulation results.

Электротехника, 2025, №9, стр. 87-92

Базовые топологии квази-ШИМ преобразователей постоянного напряжения
ВОРОНИН И.П., ВОРОНИН П.А., БОНДАРЕНКО Д.А.

Квазирезонансные преобразователи позволяют уменьшить частотно-зависимую часть потерь энергии, что способствует решению проблемы повышения рабочей частоты. Известен ряд классов преобразователей, использующих явление квази-резонанса с переключением при нулевых токах и напряжениях, оптимальные схемы которых построены на основе базовых топологий импульсных ШИМ-преобразователей путем простой замены силового ключа резонансным. Однако в таких преобразователях применяется, как правило, частотный метод управления, имеющий ряд недостатков. Переход к режиму широтно-импульсной модуляции с постоянной частотой коммутации возможен лишь при введении в схему дополнительных ключевых компонентов, что усложняет как силовую часть квазирезонансного преобразователя, так и систему его управления. В статье рассмотрены базовые топологии понижающего и повышающего квази-ШИМ преобразователей, в которых обеспечиваются естественный процесс прерывания резонанса и переход к режиму управления по методу ШИМ с постоянной частотой коммутации без применения каких-либо дополнительных активных или пассивных компоненты цепи.

Ключевые слова: квази-ШИМ преобразователи, повышающий преобразователь, понижающий преобразователь, резонансный контур.

Quasi-resonant converters can reduce the frequency-dependent part of energy losses, which helps to solve the problem of increasing the operating frequency. A number of classes of converters are known that use the phenomenon of quasi-resonance with switching at zero currents and voltages, the optimal circuits of which are based on the basic topologies of pulsed PWM converters by simply replacing the power switch with a resonant one. However, such converters usually use a frequency control method, which has a number of disadvantages. The transition to pulse width modulation mode with a constant switching frequency is possible only when additional key components are introduced into the circuit, which complicates both the power part of the quasi-resonant converter and its control system. The article discusses the basic topologies of step-down and step-up quasi-PWM converters, which provide a natural process of resonance interruption and transition to a PWM control mode with a constant switching frequency without the use of any additional active or passive circuit components.

Key words: quasi-PWM converters, step-up converter, step-down converter, resonant circuit.

Электротехника, 2025, №9, стр. 93-95

Авторы номера