

Усовершенствованные конструкции торцевых асинхронных двигателей блочно-модульного типа для экстремальных сред

БЕСПАЛОВ В.Я., ВИЛЬДАНОВ К.Я., ЗАБОРА И.Г., ЧЕРНОВ Р.О.

Рассмотрены конструкции новых дисковых асинхронных двигателей блочно-модульного типа, которые входят в состав двигательно-трансформаторных агрегатов. Асинхронные двигатели предназначены для работы в герметичных объектах с экстремальными условиями окружающей газовой, парогазовой и жидкой среды при высоких давлениях (до 150 МПа) и температуре (до +600 °С). Трансформаторная часть агрегата выполнена с первичной обмоткой, присоединенной к трехфазной сети, и со вторичной Z-фазной стержневой обмоткой, расположенной в Z пазах магнитопровода трансформатора, замкнутой с одной стороны короткозамыкающим (КЗ) кольцом. Двигательная часть агрегата содержит асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором и статором со стержневой неизолированной обмоткой, соединенной со вторичной обмоткой трансформатора, а с другой стороны замкнутой вторым КЗ-кольцом. Асинхронный двигатель может быть выполнен с дисковым КЗ-ротором, расположенным между двумя дисковыми статорами со стержневыми обмотками. Стержни вторичной обмотки трансформатора соединены с Z стержнями-гермовводами, установленными в герметичной перегородке. Каждый стержень-гермоввод с другой стороны электрически соединен с n стержнями обмотки статора через промежуточные электропроводные дугообразные сегменты, примыкающие к статору. Рассмотрены принцип действия и особенности работы новых дисковых асинхронных двигателей блочно-модульного типа.

Ключевые слова: торцевой, асинхронный, электрический, герметичный, двигательно-трансформаторный агрегат.

The construction of new disk induction motors of block-module type, which are a part of motor-transformer aggregates are observed. Induction motors are intended for work in hermetic objects with extreme conditions environments: gas, steam-to-gas and liquid at high pressures (to 150 MPas) and temperature (to +600 °C). The transformer part of aggregate is executed with primary winding connected to three-phase network and with secondary z-phase rod winding, which has been had in Z grooves of magnetic circuit of transformer, closed on the one hand the short-circuited ring. The motor part of aggregate contains an induction motor with short-circuited rotor and stator with rod bare winding, connected to transformer secondary winding, and on opposite side closed by short-circuited ring. The induction motor can be executed with the disk short-circuited rotor, had between two disk stators with rod electric windings. Rods of transformer

secondary winding are connected with Z hermetic rods which are installed in leakproof partition. Each rod on other end is connected with n rods of stator winding through intermediate conductive bow-shaped segments which are adjoining to stator. In the article the principle and job analysis of new disk induction motors of block-module type are observed.

Key words: disk, asynchronous, electrical, hermetic, motor-transformer units.

Электротехника, 2016, №10, стр. 6-12

Морская электроэнергетика с возобновляемыми энергоносителями. Ч. 2.

Аксиальные многополюсные синхронные генераторы с постоянными магнитами для ветряных и волновых офшорных электростанций

ХРИСАНОВ В.И., ДМИТРИЕВ Б.Ф.

Рассмотрены вопросы, связанные с выбором оптимальной конструкции многополюсной синхронной машины с постоянными магнитами (СМПМ) для работы на ветряных и волновых офшорных электростанциях с малодоступным техническим обслуживанием. Показано, что многополюсная СМПМ в качестве электрической машины в составе прямоприводного турбогенератора отвечает ряду основных требований, включая высокую надежность, бесконтактную конструкцию, высокий КПД, минимальные массу и габариты, приемлемую стоимость. С целью систематизации возможных конструкций СМПМ приведена укрупненная классификация, описаны конструктивные особенности и разнообразие конфигураций статора и ротора. Получены аналитические выражения, связывающие критерий оптимизации в виде максимальной удельной мощности с основными геометрическими параметрами СМПМ. В результате сравнительного анализа машин с радиальными и аксиальными магнитными потоками при различном числе полюсов и разных диаметрах роторов выявлен оптимальный вариант конструкции в виде аксиальной многополюсной СМПМ, обеспечивающей наряду с другими требованиями максимальную удельную мощность и прямоприводное исполнение турбогенераторных установок офшорных электростанций. Отмечено, что преимущество аксиальных СМПМ перед радиальными растет с увеличением числа полюсов p . При $p \geq 20$, строго необходимом для разработки прямоприводных турбогенераторов офшорных электростанций, удельная мощность аксиальных СМПМ более чем в два раза превышает соответствующий показатель радиальных машин.

Ключевые слова: аксиальные и радиальные СМПМ, офшорные электростанции, многополюсные синхронные генераторы, сравнительный анализ.

The paper deals with problems of selection of constructions and optimum designing the multipole permanent magnet synchronous machines (PMSM) for operation in offshore wind and wave power plants under severe conditions for maintenance service. It is showed the multipole PMSM is a new and a very suitable electrical machine for direct connected turbogenerators in power plants and at the same time the multipole PMSM meets a number of other main demands, including high reliability, contactless construction, high efficiency, minimum mass and dimensions, and cost effective. With aim of systematization the integrated classification of the PMSM are presented to describe the design variety of stator and rotor configurations. With the help of theoretical analysis based on geometric approach the analytical expressions for PMSM comparison are derived using the relationship between a criterion of optimization (maximum power density) and the main geometric parameters of the PMSM. The comparative analysis of the PMSMs with radial and axial magnetic fluxes for the case of various number of poles and different diameters of rotors validated the axial multipole PMSM as the synchronous machine with maximum power density and as optimum variant for the direct connected turbogenerator constructions for offshore wind and wave power plants. It is marked, the advantage of axial before radial PMSM is monotonically growing in accordance with increasing the number of poles p . Under condition $p \geq 20$, that is strictly necessary for designing direct connected turbogenerators in offshore wind and wave power plants, we have more than doubled power density at axial PMSMs in compare with radial ones.

Key words: axial and radial PMSM, offshore power plants, multipole generators, comparison analysis.

Электротехника, 2016, №10, стр. 13-17

Взрывозащищенные электродвигатели для подземных горных выработок

МАРТЫНОВ О.В., ПЕТРОВ С.В., ПИСКУНОВ С.В., ШОРОХОВ А.В.

Приведены основные технические данные асинхронных электродвигателей серии ВРА со степенью взрывозащиты РВExdI, предназначенных для подземных горных выработок и эксплуатации в условиях образования взрывоопасных смесей, отнесенных к группе ПС. Представлены основные технические решения, отличные от традиционно изготавливаемых электродвигателей данной степени взрывозащиты, принятые при создании указанных электродвигателей серии ВРА с напряжением питания 1140 В, 50 Гц вместо 380 В.

Ключевые слова: асинхронные взрывозащищенные электродвигатели, разработка, взрывонепроницаемая оболочка «d».

The article contains the main technical data of asynchronous electric motors VRA with PBE_{XdI} explosion-proof degree, used for underground digging under conditions of IIC explosive mixtures formation. The main technical solutions, different from traditionally manufactured electric motors of the same explosion-proof degree, and accepted in the process of design of the mentioned above electric motors VRA-series with supply voltage of 1140 V, 50 Hz instead of 380 V, are described.

Key words: asynchronous explosion-proof electric motors, development, flameproof enclosure «d».

Электротехника, 2016, №10, стр. 18-23

Сверхвысокооборотные электромеханические преобразователи энергии. Тенденции развития и перспективы использования

ИСМАГИЛОВ Ф.Р., ХАЙРУЛЛИН И.Х., ВАВИЛОВ В.Е.

Представлен обзор современных практических приложений сверхвысокооборотных электромеханических преобразователей энергии (Super High Speed Electrical Machine или Ultra-High Speed Electrical Machine) с частотой вращения ротора до 1000000 об/мин. Показаны перспективы развития таких электромеханических преобразователей (ЭМП) и выделены характерные для них общие конструктивные решения. Показано, что все рассмотренные сверхвысокооборотные электромеханические преобразователи эксплуатируются совместно с силовой электроникой и системой управления, что говорит о необходимости исследования их как электротехнического комплекса, а не как отдельной электрической машины. Кроме того, сверхвысокооборотные ЭМП – это электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами (в большинстве случаев Sm₂Co₁₇), при этом их статор выполнен беспазовым из аморфного железа, а вал и спинка ротора выполнены из немагнитного материала (титан или Inconel 718). Показано, что в настоящее время эти электромеханические преобразователи энергии применяются в робототехнике, станкостроении, высокотехнологичной медицине, а также при разработке беспилотных летательных аппаратов нового поколения. Основными разработчиками являются Япония (корпорация ИИ), Франция (Onera), Швейцария (Power Electronic Systems Laboratory и ETH Zurich), США (MDOT Aeronautics), Германия (High Speed

Turbomaschiner).

Ключевые слова: сверхвысокооборотные электромеханические преобразователи энергии, беспазовый статор, аморфное железо, высококоэрцитивные постоянные магниты.

This paper presents an overview of current practical applications Ultra-High Speed Electromechanical Energy Converters (Super High Speed Electrical Machine or Ultra-High Speed Electrical Machine) with a rotor speed of 1 000 000 rev / min. The prospects of development of this type of electromechanical converters and highlighted common design solutions specific to this type of electromechanical energy converters. The review established that all the considered Ultra-High Speed transducers are operated in conjunction with the power electronics and control system that shows the need to study them as electrical complex, and not as a separate electric machine. Furthermore Ultra-High Speed Electromechanical Energy Converters are electrical machines with highly coercive permanent magnets (in most cases Sm2Co17), wherein their stator slotless made of amorphous iron, the rotor shaft and the backrest are made of a nonmagnetic material (titanium or Inconel 718). It is shown that the data currently electromechanical energy converters are used in robotics, machine tools, high-tech medicine, as well as in the development of unmanned aerial vehicles of the new generation. However, the main developers are Japan (Corporation IHI), France (Onera), Switzerland (Power Electronic Systems Laboratory and ETH Zurich), USA (MDOT Aeronautics), Germany (High Speed Turbomaschiner).

Key words: Ultra-High Speed Electromechanical Energy Converters, slotless stator; amorphous iron; high-coercivity permanent magnets.

Электротехника, 2016, №10, стр. 23-27

Косвенное определение температуры обмоток асинхронного двигателя для создания тепловой защиты

КАШИРСКИХ В.Г., НЕСТЕРОВСКИЙ А.В., ГАРГАЕВ А.Н., НУРМАГАМБЕТОВА Г.С.

Рассмотрены возможности применения результатов динамической идентификации асинхронного электродвигателя и искусственной нейронной сети для косвенного определения температуры обмоток статора и ротора и построения тепловой защиты двигателя. Представлены схема подключения измерительной части, алгоритм математической обработки и фильтрации измеренных данных и некоторые результаты исследования. Для определения в реальном времени текущих значений изменяющихся в

процессе работы параметров и переменных величин асинхронного двигателя, которые не поддаются прямому измерению, используется динамическая идентификация на основе измеряемых токов и напряжений обмоток двигателя и математических методов оценивания. Построение тепловой модели асинхронного двигателя базируется на использовании аппарата искусственных нейронных сетей, придающего модели гибкость и универсальность. Результаты работы могут быть применены при создании бездатчиковых асинхронных электроприводов. Оцененные значения активных сопротивлений статора и ротора могут быть использованы для косвенного определения температуры обмоток в устройствах тепловой защиты асинхронных двигателей, а также в целях управления, мониторинга и диагностики технического состояния. Результаты исследований подтверждают возможность косвенного определения температуры и создания системы тепловой защиты для асинхронных электроприводов на основе использования методов оценивания и аппарата искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, тепловая модель, динамическая идентификация, искусственная нейронная сеть, тепловая защита.

The purpose of this study is to explore the potential of using induction motor dynamic identification and artificial neural networks for indirect stator and rotor winding temperature determination and motor thermal protection design. The scheme connection of measuring unit, measured data filtration and mathematical processing algorithm with some results of the research are presented. Dynamic identification based on the measured motor currents and voltages and mathematical estimation methods is used for determination of induction motor parameters and variables which are unavailable for direct measurement. The induction motor thermal model is based on the artificial neural network which improves its flexibility and universality. The results of this work can be used in the design of sensorless AC drives. The estimated induction motor stator and rotor resistances can be used for indirect winding temperature determination in thermal protection devices and for the purpose of control, monitoring and diagnostics. The results of this paper demonstrate that indirect winding temperature determination based on estimation methods and artificial neural networks can be used in induction motors thermal protection.

Key words: induction motor, thermal model, dynamic identification, artificial neural network, thermal protection.

Экспериментальное исследование резонансной однопроводной системы передачи электроэнергии

АЛИЕВ И.И.

Приведены результаты экспериментального исследования резонансной однопроводной системы передачи электроэнергии на номинальную передаваемую мощность 30 кВт. Система включает в себя источник (генератор) повышенной частоты, настроенные на резонанс воздушные передающий и приемные трансформаторы, однопроводную линию, соединяющую высоковольтные обмотки трансформаторов. Исследовались режимы нагрузки, холостого хода и короткого замыкания системы. Актуальность работы непосредственно определяется «Концепцией интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью», принятой в России в 2011 г. в части создания новых технологий передачи электроэнергии. В режиме нагрузки, включая номинальную, передача электроэнергии по одножильному высоковольтному кабелю сечением 1 мм длиной 1,2 км осуществляется с минимальными потерями. В линию включен участок из медного провода диаметром 80 мкм, который под номинальной нагрузкой не испытывал нагрева. Расчетная плотность тока линии составила 600 А/мм². Потери на электромагнитное излучение линии составили менее 0,5% от номинальной мощности. Показано, что в режиме холостого хода устройство потребляет электроэнергию, составляющую не более 2% от передаваемой номинальной мощности. Исследование режима короткого замыкания приемного трансформатора показало, что система малочувствительна к столь тяжелому для обычных трансформаторов аварийному режиму.

Ключевые слова: резонансная система, режимы нагрузки, холостого хода и короткого замыкания, резонансная частота, плотность тока, плотность мощности.

The results of experimental studies of resonant single-wire system of the transmission of electricity at nominal transmit power of 30 kW. The system includes a source (generator) of high-frequency, tuned to the resonance the air transmitting and receiving transformers, a single-wire line connecting the high-voltage winding of the transformers. The modes of load, idling and short-circuit of system were investigated. The relevance of the work directly is determined by the «Concept of intellectual power system with active-adaptive network», accepted in Russia in 2011 in terms of creating new technologies of electricity transmission. It is shown that in modes of load, including the nominal, electricity transmission by single-core high-voltage cable with cross-section of 1 mm length 1.2 km is carried out with minimal losses. A section of copper wire with a diameter of 80 microns, which under rated load has not experienced heat was inserted in

line. The rated density of current was 600 A/mm². Loss for electromagnetic radiation of the line was composed of less than 0.5 percent of the nominal power. It is shown that at idle, the device consumes such a power that composes no more than two percent of transferred rated power. The study of short-circuits mode of the receiving transformer has shown that the system is insensitive to such a heavy emergency mode for conventional transformers.

Key words: resonant system, modes of loading, idling, short circuit, resonant frequency, current density, power density.

Электротехника, 2016, №10, стр. 30-34

Особенности энергетических процессов в электроприводе с упругими связями при демпфировании колебаний

ГАННЕЛЬ Л.В.

Рассмотрены особенности энергетических процессов в электроприводе с упругими связями при использовании методов подавления упругих колебаний. Анализ процессов произведен с помощью исследований динамических процессов двигателя во временной и частотной областях. Показано, что рекуперация энергии колебаний нагрузки происходит путем организации режима притормаживания двигателя на частоте антирезонанса (частота собственных колебаний нагрузки). Сравнительный анализ пассивных (режекторный фильтр) и активных (модальный регулятор) механизмов подавления колебаний подтвердил их идентичный характер с точки зрения энергетики. Представление контура скорости электропривода с упругими связями колебательным звеном 2-го порядка позволило реализовать модальный регулятор редуцированного типа с заданными настройками контура скорости.

Ключевые слова: электропривод, упругие колебания, подавление упругих колебаний, модальное управление, режекторный фильтр.

The features of energy processes of electric drives with low mechanical stiffness under using the methods of vibrations' damping are considered. Analysis of the processes performed by motor's dynamic processes in the time and frequency domains. It is shown that regeneration (recuperation) of energy of load vibrations is done by braking process of the motor on the anti-resonance frequency, i.e. frequency of load natural vibrations. It is shown that a mechanism of vibrations damping when used as a passive (notch filter) or active (modal control) methods can

be considered identical in energy point of view. Presentation of the velocity loop by 2nd order model with complex roots has allowed realizing a reduced power modal regulator with calculated setting of the velocity loop.

Key words: modal control, low stiffness, natural vibrations, vibrations damping, time domain, frequency domain, energy recuperation, Notch filter.

Электротехника, 2016, №10, стр. 35-40

Проектирование и реализация новых электроприводов и систем управления для карьерных экскаваторов

МАЛАФЕЕВ С.И., НОВГОРОДОВ А.А.

Рассмотрены результаты проектирования и использования новых мехатронных систем с двигателями постоянного тока и транзисторными преобразователями энергии для карьерных экскаваторов. Интеллектуальное управление движением механизмов обеспечивает высокие динамические характеристики и индивидуальную коррекцию приводов, исключая удары и выходы в аварийные зоны. Применение современных транзисторных преобразователей для управления двигателями постоянного тока позволило на 20–30% уменьшить электропотребление по сравнению с традиционными экскаваторами с приводами по системе генератор–двигатель и снизить удельную энергоемкость экскавации. Коэффициент мощности экскаватора во всех режимах работы поддерживается постоянным и равным заданному значению, за счет чего обеспечивается оптимальная электромагнитная совместимость экскаватора и питающей электрической сети. Новые информационные системы экскаваторов обеспечивают полный контроль всех основных рабочих параметров, нагрузок на рабочие органы, состояния всех компонентов оборудования, анализ и представление в табличном и графическом виде основных технологических показателей работы экскаватора (объем отгруженной горной массы, время полезной работы, расход электроэнергии и пр.). Информационные системы содержат модуль удаленного мониторинга. Изложены результаты проектирования, опыт промышленного производства и эксплуатации мехатронных комплексов для одноковшовых карьерных экскаваторов с транзисторными преобразователями энергии в составе электроприводов главного движения.

Ключевые слова: экскаватор, электропривод, система управления, IGBT-транзисторы.

The results of the design and use of new mechatronic systems with DC motor and transistor converters of energy for Russian excavators. Intelligent control of mechanisms provides high dynamic performance and individual correction drives, eliminating bumps and emergency exits in the area. Application of modern transistor converters for DC motor control has allowed to reduce power consumption compared to traditional shovels with drives in the system generator–motor 20–30% and reduce the specific energy of excavation. The power factor of the shovel in all modes is kept constant and equal to a predetermined value, thereby ensuring optimum electromagnetic compatibility of the excavator and the supply network. New information systems excavators provide complete control of all the main operating parameters, loads on the working bodies, the status of all hardware components, analysis and presentation in tabular and graphical data on the main technological parameters of the excavator work (volume shipped rock mass, uptime, and power consumption etc.). Information systems provide remote monitoring module. The results of design experience in industrial production and operation of the mechatronic systems for mining shovels single bucket with transistor converters of electric energy as a part of the main motion.

Key words: shovel, electrical drive, control system, IGBT-transistors.

Электротехника, 2016, №10, стр. 40-44

Составляющие токов короткого замыкания в наблюдаемой электрической сети

ЛЯМЕЦЮ.Я., БЕЛЯНИН А.А.

Статья затрагивает информационные аспекты процесса короткого замыкания в наблюдаемой пассивной электрической сети. Наблюдаются ток и напряжение каждого провода. Модель сети полагается линейной. При таких условиях наблюдаемые токи допускают разделение на две составляющие, названные нормальной и локальной. Первые представляют собой реакции модели на воздействие наблюдаемых напряжений, вторые – остающиеся части наблюдаемых токов – несут особо ценную информацию о поврежденном участке сети и месте повреждения. В локальном режиме модель содержит шунты в местах наблюдения. Разработан метод локализации модели, заключающийся в перемещении шунтов из места наблюдения по направлению к месту предполагаемого повреждения. Попадание шунтов в место повреждения сопровождается исчезновением локального тока в других местах наблюдения.

Ключевые слова: электрическая сеть, короткое замыкание, составляющие тока, место повреждения.

This article describes the information aspects of a short circuit in the observed passive electrical network. Current and voltage of each wire are under observation. Model of network is assumed as linear. In these conditions the observed currents permit separation into two components that are called the normal and the local. The first components represent a response of model on the impact of observed voltages. The second components that are the remaining parts of the observed currents bear especially valuable information about damaged part of the network and about the faults location. The model contains shunts in the place of observation in the local mode. A method for the localization of the model consisting in the moving the shunt from the place of observation in direction to the place of the alleged fault is developed. When shunts get into the fault location, the local current in other places of observation disappears.

Key words: electrical network, short circuit, current components, fault location.

Электротехника, 2016, №10, стр. 45-49

Моделирование режимов работы устройств релейной защиты в сетях с изолированной нейтралью

ИСКАКОВ У.К., БРЕЙДО И.В., СМАГУЛОВА К.К.

Приведен теоретический анализ режимов работы, приводящих к неселективным срабатываниям устройства релейной защиты в сетях с изолированной нейтралью. Проанализировано влияние колебаний напряжения сети на селективность срабатывания устройств релейной защиты. Разработана модель сети с изолированной нейтралью, включающая в себя линию электропередачи и двигательную нагрузку, с возможностью изменения параметров сети в процессе моделирования. Параметры модели соответствуют параметрам реальной электрической сети и электрооборудования. Разработана модель устройств наиболее распространенных токовых защит электрических сетей с изолированной нейтралью. Модели позволяют моделировать рабочие и аварийные режимы работы сети, контролировать параметры, влияющие на срабатывание устройств защиты, проверять правильность расчета уставок срабатывания устройств защит для конкретных условий эксплуатации, анализировать поведение устройств защит в реальных условиях эксплуатации. Выполнены имитационные эксперименты по моделированию рабочих и аварийных эксплуатационных режимов сети при изменяющихся напряжениях сети на $\pm 10\%$, что соответствует реальным условиям эксплуатации в горнорудной промышленности. Установлено, что в реальных условиях эксплуатации, например сетей

горнорудной промышленности, возможны излишние или ложные срабатывания защит.

Ключевые слова: сеть с изолированной нейтралью, устройства токовых защит, модель электрической сети с изолированной нейтралью, условия эксплуатации, неселективные срабатывания.

In this paper we presented the theoretical analysis of the protection relays operating modes leading to nonselective tripping in isolated neutral system. The analysis was carried out which describes the influence of network voltage oscillation on relaying protection devices selectivity. The model of isolated neutral system was developed which consist of power-line and asynchronous machine, this model allows changing of network parameters during modelling. The generalized model of overcurrent protection was developed. Developed models have following features: controlling of parameters, which affect to protection relays operation; modelling of operating and emergency modes of power system; validating of relay protection settings calculated for particular exploitation conditions; analyzing of behavior of relaying protection devices in real exploitation conditions. Simulation modellings were carried out showing operating and emergency modes of power system during voltage oscillation varying within from -10% to $+10\%$. Using results of modelling authors determined that normal and admissible voltage oscillations in cable distribution lines lead to nonselective operation of relaying protection.

Key words: isolated neutral system, overcurrent protection device, model of isolated neutral system, exploitation conditions, nonselective tripping.

Электротехника, 2016, №10, стр. 50-56

Выбор рабочего напряжения высоковольтной кабельной электропередачи повышенной частоты

ГУСЕНКОВ А.В., ЛЕБЕДЕВ В.Д., СОКОЛОВ А.М., ШАДРИКОВ Т.Е.

Обоснована необходимость разработки и приведено описание методики выбора рабочего напряжения и рабочей напряженности электрического поля в изоляции высоковольтной кабельной электропередачи, работающей на напряжении непромышленной (повышенной) частоты, исходя из требуемых срока службы, протяженности кабельных линий и их эксплуатационной надежности. Методика основана на существующих представлениях о математическом описании «кривой жизни» твердой органической изоляции и принятом в настоящее время предположении о неизменности ее электрической прочности при

неизменном значении произведения частоты воздействующего высокого напряжения и времени пробоя. Предполагается также, что изоляцию кабельных линий можно рассматривать как совокупность множества изоляционных промежутков, каждый из которых имеет размеры опытного образца, что позволяет расчетным способом определять характеристики электрической прочности изоляции кабельных линий любой протяженности на основании результатов испытания опытных образцов, имеющих небольшие и удобные для экспериментов размеры. При этом считается, что распределение пробивных напряжений кабельной изоляции соответствует нормальному закону.

Приведен пример использования предложенной методики, основанный на результатах экспериментального исследования электрической прочности кабельной изоляции, который позволил оценить характер и степень влияния различных факторов на значение рабочего напряжения. Предложенная методика является одним из важнейших компонентов методологии конструирования кабельных электропередач.

Ключевые слова: высоковольтная кабельная линия, рабочее напряжение, электрическая изоляция, повышенная частота, полупроводниковый преобразователь напряжения.

The necessity of development and the description of the method to choose the working voltage and the working electric field in the insulation of high-voltage power cable transmission operating at voltages non-industrial (increased) frequency, based on the required service life, the length of the transmission and operational reliability are given. This method is based on existing notions of the mathematical description of the «curve of life» for a solid organic insulation adopted and at present the assumption of a fixed electric strength at a constant value of the mathematical product of the high-voltage frequency and the value of the breakdown time. It is also expected that the insulation of the cable lines can be considered as a set of insulation, each of which has dimensions of a tested samples that allows calculation method to determine the characteristics of the dielectric strength of the insulation of cable lines of any length based on the test results of experimental samples with small and convenient for experiments, the sizes. It is assumed that the distribution of breakdown voltages of cable insulation corresponds to the normal law. An example using the proposed method, based on the results of experimental investigation of the electric strength of the cable insulation, which allowed to assess the nature and degree of influence of various factors on the value of the working voltage. It also shows the relevance of the proposed method, because of the choice the value of operating voltage by means of the traditional methods used in cable networks of industrial frequency, can lead to significant errors. The proposed method should be considered as one of the most important components of the methodology of constructing such power transmission, the development of which is currently

an urgent task.

Key words: high-voltage cable power transmission, working voltage, electrical isolation, increased frequency, semiconductor voltage converter.

Электротехника, 2016, №10, стр. 56-61

Особенности работы непосредственного преобразователя частоты в однофазном машинно-вентильном источнике с модуляцией напряжения

КИНИЦА О.И., СЕРИКОВ А.В., СУЗДОРФ В.И.

Источники напряжения на основе генератора с пульсирующим магнитным потоком имеют ряд недостатков из-за зависимости гармонического состава выходного напряжения от частоты вращения вала. В статье рассматривается подход, основанный на машинно-вентильном формировании напряжения генератора путем сложения ЭДС близких частот. Предложена коррекция закона управления преобразователем частоты с непосредственной связью при модулированном входном напряжении, позволяющая улучшить качество кривой выходного напряжения и уменьшить паразитные составляющие спектров выходного напряжения в децентрализованном автономном источнике стабильной частоты. Основной идеей коррекции является создание обратной связи на входе преобразователя частоты для отслеживания фазных параметров выходного сигнала, а также учета глубины амплитудной модуляции и частоты вращения приводного вала. Предложенная обратная связь позволяет сформировать запрещающие импульсы на открытие вентиля и соответственно улучшить форму основной гармоники выходного напряжения. Приведены результаты исследований, реализованных при раздельном управлении вентильными группами и прямоугольном законе управления.

Ключевые слова: преобразователь частоты, машинно-вентильный источник, стабильная частота напряжения.

Voltage source-based generator with a pulsating magnetic flux have a number of drawbacks because of the dependence of the harmonic composition of output voltage from the speed of the shaft. The article discusses an approach based on machine-valve forming voltage of the generator by adding the EMF of close frequencies. The proposed correction of the law of the frequency inverter with direct connection with modulated input voltage, allowing to improve the quality curve of the output voltage and reduce the parasitic components of the spectra of the output voltage in a decentralized autonomous source of the stable frequency. The main idea of

correction is to generate feedback to the input of the frequency converter is to track the phase of output signal parameters, and consideration of the depth of amplitude modulation and the frequency of rotation of the drive shaft. The proposed feedback allows to create and prohibiting pulses for opening the valves and, respectively, to improve the shape of the main harmonic of the output voltage. The results of studies implemented in a separate control valve groups and rectangular control law.

Key words: frequency inverter, machine-valve source, stable frequency voltage

Электротехника, 2016, №10, стр. 62-67

Реализация векторной ШИМ в двухсекционном преобразователе частоты

КОСТЫЛЕВ А.В.

Выполнен анализ режимов работы двухсекционного преобразователя частоты на основе двух последовательно включенных инверторов напряжения. Рассмотрен вопрос реализации векторной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для исследуемого преобразователя. Представлены схемы включения преобразователя и векторная диаграмма состояний выходного напряжения. Показано, что диаграмма состояний соответствует традиционному трехуровневому преобразователю. Предложен алгоритм векторной ШИМ, обеспечивающий удвоение частоты переключений фазного напряжения по отношению к частоте коммутации силовых ключей инверторов. Предложенный алгоритм векторной ШИМ позволяет исключить необходимость компенсации второй и четвертой гармоник, возникающих при синтезе системы управления двухсекционным преобразователем с использованием односторонних опорных сигналов в узле ШИМ. Данный прием также улучшает гармонический состав выходного напряжения ДСПЧ в высокочастотной области, однако при этом несколько увеличивается нагрузка на ключи одного из инверторов за счет дополнительных переключений нулевых векторов. Для реализации представленного алгоритма удобно использовать модуль ПЛИС. Приведены временные диаграммы фазного напряжения на выходе преобразователя и его спектральный состав.

Ключевые слова: векторная широтно-импульсная модуляция, двухсекционный преобразователь частоты.

This paper deals with analysis of two-section frequency converter based on two series-connected voltage inverters operating modes. The implementation issue of the vector pulse-width modulation for analyzed convertor is considered. The schemes of inverter switching states and

the vector diagram of the output voltage are presented. It is shown that the vector state diagram corresponds to the diagram of the traditional three-level inverter. The proposed algorithm of vector PWM provides a switching frequency doubling of phase voltage with respect to the switching frequency of the power transistors. The presented algorithm of the vector PWM eliminates the necessity to compensate the 2nd and 4th harmonics that occurs when using traditional sinusoidal PWM with asymmetric reference signal. Also this technique slightly improves harmonic composition of the output voltage of the converter. However additional switching of the zero vector increases the load on the power switches. To implement the presented algorithm is useful FPGA module. The article presents the plot of the phase output voltage of the converter and its spectral composition.

Key words: two-section frequency converter, vector pulse-width modulation.

Электротехника, 2016, №10, стр. 68-73

Математическая модель оценки снижения потерь мощности в сетевой организации при компенсации реактивной мощности в сети потребителя

КУЗНЕЦОВ А.В., АРГЕНТОВА И.В.

Одной из причин, сдерживающих установку компенсирующих устройств потребителем электроэнергии, является труднодоступность сведений о возможном снижении потерь мощности и электрической энергии в сети смежной сетевой организации. Эти сведения необходимы для технико-экономического обоснования принятия решения. Предложена математическая модель, которая позволяет получить эти сведения при ограниченном объеме информации о параметрах сети сетевой организации. Кроме того, она может быть использована для анализа параметров и их влияния друг на друга, разработки инженерной методики расчета снижения потерь мощности в сети сетевой организации при компенсации реактивной мощности в сети потребителя, уточнения норм и правил технико-экономического обоснования компенсации реактивной мощности в сети потребителя в условиях эксплуатации и на стадии проектирования.

Ключевые слова: сетевая организация, потребители, потери электрической энергии, компенсация реактивной мощности, математическая модель.

The article shows that one of the reasons restricting the installation of compensating devices by an electricity consumer is a lack of information on a possible decrease of capacity losses and electrical power in the net of related grid operator. These data are important to prove a decision

from the technical and economic point of view. The recommended mathematical model makes it possible to get these data having limited information on parameters from the related grid operator. Besides, this model can be used to analyze parameters and their influence on each other, to work out an engineering practice estimating the decrease of capacity losses in the grid operator net under volt-amperes reactive compensation in the consumer net, to specify the standards and rules of the volt-amperes reactive compensation in the consumer net from the technical and economic point of view in the context of either operation or planning stages.

Key words: network organization, consumers, electrical energy losses, reactive power compensation, mathematical model.

Электротехника, 2016, №10, стр. 74-79

Динамика асимметрии переменного тягового тока в рельсовых линиях на двухпутных перегонах

ШАМАНОВ В.И.

Устойчивость работы рельсовых цепей и автоматической локомотивной сигнализации на электрифицированных участках железных дорог нарушается наиболее часто из-за помех от тягового тока в рельсовой линии. Помехи возникают при появлении асимметрии тягового тока в линии в местах подключения к рельсам аппаратуры рельсовых цепей или под приемными локомотивными катушками автоматической локомотивной сигнализации. На однопутных перегонах рельсовую линию, с точки зрения протекания по ней тяговых токов можно рассматривать как уединенную двухпроводную линию, включающую в себя две однопроводные электрические линии, обладающие взаимной индуктивностью. Это облегчает вычисление асимметрии тягового тока. На двухпутных перегонах решение данной задачи заметно сложнее, так как тяговая сеть на них содержит дополнительно электрические рельсовые нити соседнего пути, второй контактный провод и линию продольного электроснабжения, размещенную на опорах контактной сети. Эти линии обладают взаимными индуктивностями с рассматриваемыми рельсовыми нитями. Расстояния от каждой из рельсовых нитей до дополнительных электрических линий на таких перегонах различны, поэтому взаимные индуктивности, обратно пропорциональные этим расстояниям, также различны. Анализ предложенной методики расчета асимметрии тягового тока в рельсовой линии показал, что эта асимметрия зависит не только от электрических сопротивлений и удельных взаимных индуктивностей, которыми обладают взаимосвязанные однопроводные электрические линии, но и от соотношения токов в них.

Установлено, что степень влияния асимметрии тягового тока на устойчивость работы рельсовых цепей и автоматической локомотивной сигнализации более адекватно отражает абсолютное значение этой асимметрии в конкретной точке рельсовой линии по сравнению с коэффициентом асимметрии тягового тока. Динамика асимметрии тягового тока во времени в рельсовой линии определяется изменениями температуры окружающей среды, тягового тока в рельсах и электрических сопротивлений в переходах между элементами рельсовых стыковых соединителей, дроссельных перемычек и подключаемых к рельсам цепей заземления опор контактной сети. При движении поезда асимметрия тягового тока под приемными локомотивными катушками дополнительно меняется в зависимости от входных сопротивлений отрезков рельсовых линий, лежащих впереди, а также от неравномерности продольной намагниченности рельсов при ее наличии.

Ключевые слова: тяговый ток, рельсовые линии, электрические и магнитные свойства тяговой сети, рельсовые цепи, автоматическая локомотивная сигнализация, динамика асимметрии тягового тока.

The stability of operation of track circuits and automatic locomotive signaling on electrified sections of railways is violated most often the effect of interference from traction current in rail lines. Interference is caused by the asymmetry traction current in the line at the connection to the rails of the track circuit equipment or under locomotive coils of the automatic locomotive signaling. On a single-track stretch of rail line, from the point of view of the flow of traction currents through it, can be seen as a solitary two-wire line, comprising two single-wire electric lines with mutual inductance. This facilitates the calculation of the asymmetry traction current. On the two-lane stretches the solution to this problem is markedly more difficult, as the traction on them network further comprises an electric rail threads of the adjacent track, the second contact wire and the longitudinal line of the power supply, placed on supports of contact network. These lines have a mutual inductance of the considered rail threads. The distance from each of the rail lines to additional on such stretches of power lines are different, so the numerical values of the mutual inductance is inversely proportional to these distances are also different. Analysis of the derived equations and developed a method of calculating asymmetry traction current in rail lines showed that the quantity of this asymmetry depends not only on the quantities of the electric resistances and relative mutual inductances, which have interconnected single-wire electric lines, but also on the ratio of the currents in them. The degree of influence of asymmetry traction current on the stability of track circuits and the automatic locomotive signaling more adequately reflects the absolute value of this asymmetry at a concrete point rail line compared with the coefficient of asymmetry traction current. The dynamics of asymmetry

traction current in time in the rail line is determined by changes in the ambient temperature, traction current in the rails and the electrical resistivity in the transitions between the elements of rail jumpers, of the throttle connected to the rails and of the circuit ground support contact network. When the movement of the train asymmetry traction current under the locomotive coils additionally varies from changes to the input resistances of the segments of rail lines that lie ahead, as well as from the uneven of longitudinal magnetization of rails if any.

Key words: traction current, rail lines, electric and magnetic properties of the traction network, track circuit, automatic locomotive signaling, the dynamics of the asymmetry traction current.

Электротехника, 2016, №10, стр. 80-82

ФГУП ВЭИ 95 лет