

Полностью сверхпроводниковая электрическая машина с высокой удельной мощностью

ДЕЖИН Д.С., ИВАНОВ Н.С., КОБЗЕВА И.Н., КОВАЛЕВ К.Л.

Основной тенденцией развития транспорта является переход на электродвижение, что обусловлено повышенными требованиями к экологичности и КПД транспортных систем. Важнейшим параметром, определяющим перспективность электротранспорта, является удельная мощность электрических машин (генераторов и двигателей). Так, например, для создания полностью электрического самолета необходимо создание электрических машин с удельной мощностью свыше 20 кВт/кг. Как показывают исследования, в длительном режиме достичь таких показателей удельной мощности возможно при использовании криогенного охлаждения и применении современных сверхпроводниковых материалов в составе электрических двигателей и генераторов. Создание таких машин осложнено необходимостью учета критических свойств сверхпроводников. В частности, обмотка на статоре должна быть выполнена из катушек в форме рейстрек. Это может быть реализовано в машине с числом пазов на полюс и фазу меньше единицы. В статье рассмотрена схема такой полностью сверхпроводниковой электрической машины с высокой удельной мощностью. Представлена аналитическая методика расчета основных параметров машины. Полученные соотношения позволяют проводить анализ влияния числа пар полюсов, свойств сверхпроводников, главных размеров машины на удельную мощность. Приведены результаты конечно-элементного моделирования полностью сверхпроводниковой электрической машины.

Ключевые слова: электротранспорт, высокотемпературные сверхпроводники, массогабаритные показатели, удельная мощность.

Nowadays high requirements to ecological properties and efficiency determine transition to electric propulsion or hybrid propulsion in transport systems. Specific power of electric machines is a key parameter of transport electric systems. For example, electric machines for future electric aircraft must have specific power over 20 kW/kg. Superconductivity is clearly the enabling technology for the more efficient turbo-electric aircraft of the future because of extremely high specific power values of superconducting electrical machines. More than that superconductivity application allows to increase efficiency of all electrical system of aircraft. Creation of such machines is an engineering and scientific problem because of high temperature superconductors (HTS) properties. For example, HTS coils of stator winding must have

racetrack form. This work reviews scheme of the fully HTS electrical machine with high specific power. Analytical methodology of calculating main parameters of the machine is provided. Analytical expressions allow to analyze specific power dependency from number of pair poles, dimensions of active zone of the machine, HTS tapes properties and etc. Finite element modeling results are provided in this work too.

Keywords: electric vehicle, high-temperature superconductors, dimensions and weights parameters, power density.

Электротехника, 2018, №2, стр. 7-12

Энергоэффективные асинхронные машины с нетрадиционным электромагнитным ядром

ГРАЧЕВ П.Ю., БЕСПАЛОВ В.Я., ТАБАЧИНСКИЙ А.С., СТРИЖАКОВА Е.В.

На современных энергоустановках автономных объектов применяются электромеханические преобразователи с хорошими массо-объемными показателями. Однако проблема снижения удельных энергетических показателей электрических машин продолжает оставаться актуальной. В статье представлены новые технические решения и расчетные методики для нетрадиционных энергосберегающих машин с улучшенными массо-объемными показателями. Электромагнитное ядро машин включает обмотку статора с активными и лобовыми проводниками прямоугольного сечения. Сечение перемычек для соединений активных и лобовых проводников уменьшено. Лобовые проводники обмотки статора не пересекаются. Этими мерами достигаются экономия меди и снижение длины электромагнитного ядра при сохранении высокого КПД. Показана возможность и перспективность выполнения такой обмотки в виде многослойной волновой. Рассмотрена конструкция асинхронного двигателя с обмоткой статора такого типа. Изложены особенности методики проектирования электрических машин с новой обмоткой статора. Приведена развернутая торцевая схема обмотки статора и схема последовательности соединений проводников этой обмотки. Даны выражения для расчета вылета лобовых частей обмотки. Приведены результаты сравнения нового и серийного двигателей мощностью 75 кВт.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, электромагнитное ядро, обмотка статора, вылет лобовых частей, методика проектирования, энергоэффективность.

For up-to-date autonomous power supply, mass and dimensions of electromechanical converters is strongly important. However, mass and dimensions reduction leads to decreased efficiency, and efficiency improving is still relevant. In this article, new technical solutions and calculation methodics for original energy-efficiency machines with decreased mass and dimensions are introduced. Electromagnetic core of the machine includes stator rectangular winding. Cross-section of connections between slot and overhang parts (jumpers) is reduced. Stator overhang conductors lay in the single layer and do not cross each other. Copper intensity and length reduction is achieved, while efficiency remains high. A prospective type of new compact winding is wave and multilayered. Induction motor construction with compact winding is considered. Calculation methodic features of new compact winding is proposed. Linear end-face scheme and slot connection order is illustrated. Overhang deviation expressions are given. Induction machine with innovative electromagnetic core parameters are compared with serial 75 kW ones.

Key-words: induction motor, electromagnetic core, stator winding, overhang deviation, calculation methodic, efficiency.

Электротехника, 2018, №2, стр. 12-16

Шумовые характеристики лифтовых двигателей в переходных режимах

АФОНИН В.И.

Рассмотрены источники виброшумоактивности двигателей привода лифтов в переходных режимах. Рассчитаны собственные частоты колебания статоров двигателей лифтовых приводов. Шум, производимый электрической машиной, содержит три основные составляющие: механическую, аэродинамическую, электромагнитную. Электромагнитная составляющая является следствием колебаний поля в воздушном зазоре; ее уровень зависит от конструкции обмоток, числа пазов статора и ротора, магнитного насыщения и эксцентриситета ротора. Электромагнитные колебания порождают силовые волны, которые деформируют сердечник статора и вызывают воздушные звуковые колебания. Если частота силовых волн совпадает (или близка) с собственной частотой колебаний сердечника статора, то наступает резонанс, что может привести к увеличению уровня шума. Собственные частоты активного ядра двигателя определяются заданными техническими характеристиками, однако на возникающие силовые волны можно влиять, изменяя число пазов статора или ротора, скос пазов ротора и воздушный зазор.

Ключевые слова: лифтовые двигатели, виброшумовые характеристики, переходные режимы.

The sources of vibronoiseactivity motors of elevators in transient conditions were considered. The natural frequencies of vibrations of the stators of the motors of elevator drives are calculated. The noise of the electrical machine has three main components: mechanical, aerodynamic and electromagnetic. The electromagnetic component is a consequence of the oscillations of the field in the air gap; its level depends on the design of the windings, the number of grooves of the stator and rotor, magnetic saturation and rotor eccentricity. Electromagnetic fluctuations generate force waves which deform the stator core and cause air sound vibrations. If the frequency of the force waves is the same with the natural frequency of the stator core, it is the resonance that can lead to increase of noise level. The natural frequencies of the active nucleus of the motor determined by the specified technical characteristics, however, the emerging power of the wave can be influenced by changing the number of slots of stator or rotor, the bevel grooves of the rotor and air gap.

Key words: elevator motors, vibrating characteristics of transient regimes.

Электротехника, 2018, №2, стр. 17-25

Электроэнергетические системы динамически позиционируемых буровых судов
ИГНАТЕНКО А.В., КУЗНЕЦОВ С.Е.

Рассмотрены характерные особенности электроэнергетических систем динамически позиционируемых буровых судов «Stena Drillmax» судовой верфи SHI-Samsung Heavy Industry, «Discoverer Clear Leader» судовой верфи DSME-DAEWOO shipbuilding and Marine Enginiring, «Pacific Scirocco» судовой верфи «Maersk Viking» компании Maersk Drilling. Электроэнергетические системы буровых судов содержат от четырех до восьми генераторных агрегатов, подключаемых к главным электрораспределительным щитам, расположенных в изолированных машинных отделениях, отделенных друг от друга для повышения живучести водонепроницаемыми и пожароустойчивыми переборками. Движительная установка содержит, как правило, шесть азимутальных винто-рулевых комплексов с полупроводниковыми преобразователями частоты. Основными направлениями модернизации электроэнергетической системы бурового судна являются обеспечение работы судовых электростанций на общую шину без снижения надежности электропитания системы позиционирования и реализация концепции разделяемых энергоблоков с использованием модернизированной системы контроля и защиты дизель-генераторов, системы электрораспределения и более эффективных алгоритмов функционирования системы автоматизации, что в случае аварии позволяет без

обесточивания локализовать аварийный участок в пределах одного распределительного щита.

Ключевые слова: буровое судно, динамическое позиционирование, высоковольтная электроэнергетическая система, главный электrorаспределительный щит, дизель-генератор, винто-рулевой комплекс.

The characteristic features of the electric power systems of dynamically positioned drilling vessels «Stena Drillmax» shipyard SHI-Samsung Heavy Industry, «Discoverer Clear Leader» shipyard DSME-DAEWOO shipbuilding and Marine Engineering, «Pacific Scirocco» shipyard, Maersk Viking company Maersk Drilling. Electric power systems of drilling vessels contain from 4 to 8 generator aggregates connected to the main switchboards (from 2 to 4) located in isolated engine compartments separated from each other to increase survivability by watertight and fire-resistant bulkheads. The propulsion system contains, as a rule, 6 azimuth helical-rudder complexes with semiconductor frequency converters. The main directions of modernization of the electric power system of the drilling vessel is to ensure the operation of ship power stations on the common bus without reducing the power supply reliability of the positioning system and implementing the concept of shared power units in the electric power system using a modernized monitoring and protection system for diesel generators, system of electrical distribution and more efficient algorithms for the functioning of the automation system, which in case of an accident allows without interruption to localize the emergency area within a single main switchboard.

Key words: drilling vessel, dynamic positioning, high-voltage electric power system, main electric switchboard, diesel generator, thrusters.

Электротехника, 2018, №2, стр. 25-30

Снижение износа щёток в двигателях постоянного тока, предназначенных для работы в высотных условиях

ИЗОТОВ А.И., БЕСПАЛОВ В.Я., МАМАЕВ Г.А., ТИМОШЕНКО В.Н., ИЗОТОВ С.А.,
ФОМИНЫХ А.А., ПРОКОШЕВ Д.А.

Рассмотрены причины повышенного износа токоведущих щёток у герметизированных электрических двигателей постоянного тока, работающих в высотных условиях.

Приведены результаты исследований шести двигателей с разной степенью герметизации.

Установлено, что повышение степени герметизации приводит к снижению сопротивления

политурной плёнки (её толщины) и увеличению износа щёток. Предложен способ снижения износа токоведущих щёток при работе в нормальных и высотных условиях за счёт установки смазывающей щётки, выполненной на основе дисульфида молибдена марки ДМС-140. Смазывающая щётка устанавливается в дополнительный щёткодержатель либо в карман, конструктивно соединённый с токоведущим щёткодержателем, на рабочую дорожку коллектора. Исследовано влияние материала профиля коллектора (медь, кадмиевая бронза, хромовая бронза) на износ токоведущих щёток и эффективность установки смазывающих щёток при работе в нормальных и высотных условиях. Рассмотрены влияние смазывающих щёток на рабочие характеристики двигателя мощностью 5 Вт, результаты испытаний семи двигателей мощностью 5 Вт, оборудованных смазывающей щёткой в соответствии с техническими условиями на машину и на гарантийную наработку. Приведена информация по результатам длительного хранения (1 год и 1,9 года) четырёх двигателей разной мощности, оборудованных смазывающими щётками; термовакуумных испытаний двигателей мощностью 10 Вт при давлении $p = 10^{-5} \div 10^{-6}$ мм.рт.ст.

Ключевые слова: двигатели постоянного тока, смазывающая щётка, износ, высотные условия, дисульфид молибдена.

In the article the reasons of the increased wear of current-carrying brushes at the sealed-off electric motors of a direct current working in high-altitude conditions are considered. The results of the research of six engines with different degrees of hermeticity are presented. It is established that an increase in the degree of sealing leads to a decrease in the resistance of the polytape film (its thickness) and an increase in the wear of the brushes. A method is proposed for reducing the wear of current-carrying brushes when operating under normal and high-altitude conditions by installing a lubricating brush made on the basis of molybdenum disulfide of the DMS-140 brand. The lubricating brush is installed in an additional brush holder or in a pocket structurally connected to a live brush on the collector runway. The influence of the material of the collector profile (copper, cadmium bronze, chrome bronze) on the wear of current-carrying brushes and the efficiency of the installation of lubricating brushes, operating under normal and high-altitude conditions was investigated. The results of the application of lubricating brushes on the performance of an engine with a power of 5 W, the results of testing of seven engines with a power of 5 W, equipped with a lubricating brush, are given in accordance with the technical conditions for the machine and for warranty work. Information is given on the results of long-term storage (1 year and 1.9 years) of four engines of different capacities equipped with lubricating brushes; thermovacuum tests of engines with a power of 10 W at a pressure $p = 10^{-5}$

÷ 10⁻⁶mmHg.

Key words: DC motors, lubricating brush, wear, high-altitude conditions, the molybdenum disulfide.

Электротехника, 2018, №2, стр. 31-35

Оценка возможностей стабилизации переменного напряжения с помощью импульсного инвертирующего преобразователя. Часть 2.

КОРШУНОВ А.И.

Оценены свойства стабилизаторов напряжения переменного тока, использующих инвертирующий импульсный преобразователь, при наличии искажений формы входного напряжения и резких его провалов. Оценка выполнена на основе его предельной непрерывной модели, рассмотренной в первой части статьи. Для исправления формы напряжения и исключения резких кратковременных скачков и провалов выходного напряжения стабилизатора осуществляется регулирование мгновенных значений выходного напряжения путем управления относительной длительностью пребывания ключа в крайних положениях в зависимости от соотношения мгновенного значения входного и заданного значения выходного напряжения. Установлено, что на свойства стабилизатора определяющее влияние оказывают переменные коэффициенты дифференциальных уравнений его предельной непрерывной модели. Показано, что при искаженной форме входного напряжения вследствие периодического изменения коэффициентов дифференциальных уравнений выходное напряжение также содержит высшие гармоники. Их уровень уменьшается с уменьшением полного сопротивления дросселя. Показано, что при скачке стабилизируемого напряжения происходит практически мгновенная его компенсация за счет изменения относительной длительности пребывания ключа в крайних положениях. Однако это не исключает переходный процесс, вызываемый скачкообразным изменением коэффициентов дифференциальных уравнений предельной непрерывной модели системы. Сравнение процессов в реальной дискретной модели стабилизатора и в его предельной непрерывной модели при вполне реальной частоте переключений показало их практическое совпадение.

Ключевые слова: стабилизатор переменного напряжения, инвертирующий импульсный преобразователь, высшие гармоники, резкие провалы входного напряжения.

Properties of the voltage stabilizers of alternating current using the inverting pulse converter at existence of distortions of a form of entrance tension and its sharp failures are estimated. The

assessment of properties of the stabilizer is made on the basis of its limit continuous model constructed in the first part of article. For correction of a form of tension and an exception of sharp short-term jumps and failures of output tension of the stabilizer regulation of instant values of output tension by management of the relative duration of stay of a key in extreme provisions depending on a ratio of instant value of an entrance and preset value of output tension is carried out. It is established that variable coefficients of the differential equations of its limit continuous model have the defining impact on properties of the stabilizer. It is shown that at the distorted form of entrance tension owing to periodic change of coefficients of the differential equations output tension also contains the highest harmonicas. Their level decreases with reduction of full resistance of a throttle. It is shown that at jump of the stabilized tension there is its almost instant compensation for the account of change of relative duration of stay of a key in extreme provisions. However it doesn't exclude the transition process caused by spasmodic change of coefficients of the differential equations of limit continuous model of system. Comparison of processes in real discrete model of the stabilizer and in its limit continuous model with quite real frequency of switching showed their practical coincidence.

Keywords: the stabilizer of an alternating voltage inverting the pulse converter, the highest harmonicas, sharp failures of entrance tension.

Электротехника, 2018, №2, стр. 36-39

Исследование потерь мощности в кабеле скважинного погружного электродвигателя ХАКИМЬЯНОВ М.И.

Свыше половины нефтедобывающих скважин РФ эксплуатируются с помощью погружных электроцентробежных насосов, которыми обеспечивается до 75% всей добываемой в стране нефти. Однако погружные электроцентробежные насосы имеют довольно высокое удельное энергопотребление при добыче скважинной жидкости. Наибольшую сложность представляет определение потерь в кабеле погружного электродвигателя. Предложены аналитические выражения для уточненного расчета потерь мощности в кабеле установки погружного электроцентробежного насоса. Потери зависят от длины и сечения кабеля, средней температуры и протекающего тока. Температура вдоль ствола скважины приближенно может быть описана линейным законом. Однако необходимо учитывать еще многие факторы: нагрев кабеля протекающим электрическим током, откачиваемой жидкостью, которая, в свою очередь, нагревается от тепла работающего погружного насосного агрегата. Построены

графические зависимости потерь в кабеле от протекающего тока при различных значениях температуры и длины кабельной линии. Результаты исследований помогут повысить точность расчета энергетических характеристик скважинных насосов и оптимизировать их режимы работы.

Ключевые слова: нефтедобывающая скважина, электроцентробежный насос, погружной электродвигатель, кабельная линия, потери мощности, энергоэффективность.

More than half of the fund of oil wells by the Russian Federation operated with the help of electric submersible pumps, which provide up to 75% of all oil produced in the country. However, electric submersible pumps have a rather high specific energy consumption in the extraction borehole fluid. The greatest difficulty is the definition of losses in cable of submersible motor. The author has received analytical expressions for the calculation of the adjusted power losses in the cable of electric submersible pump units. Loss depends on the length and area of the cable, the average temperature and the electric current. The temperature along the wellbore can be approximately described by a linear law. However, it should also take into account many factors: the heating cable of electric current, flowing pumped liquid, which, in turn, heated by the heat operated submersible pump unit. We construct a graph of cable loss of current flowing at different temperatures and the length of the cable line. The research results will help to improve the accuracy of calculating the energy performance of downhole pumps and to optimize their operating modes.

Key words: oil well, electric submersible pump, submersible motor, cable line, power loss, energy efficiency.

Электротехника, 2018, №2, стр. 40-46

Динамические режимы электромеханических систем при параметрических возмущениях

ПРИСМОТРОВ Н. И., ПОНОМАРЕВ Ю.Г., МИЦИХИН М.А.

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния демпфирования и зазоров на динамику электромеханических систем в зонах главного, гармонического и субгармонического резонанса при параметрических возмущениях.

Представлены расчетные схемы электромеханических систем при учете упругих связей, зазоров, механического демпфирования, непостоянства передаточного числа и радиуса

приведения. Приведены уравнения и структурные схемы, описывающие движение, рассматриваемых электромеханических систем в исходных величинах и принятой системе обобщенных параметров и относительных единиц. Электропривод представлен линейной механической характеристикой с учетом электромагнитной инерции силовых цепей. Рассмотрены вопросы линейризации электромеханических систем при параметрических возмущениях и выявлены области параметров, при которых она возможна. Получены аналитические соотношения для определения оптимальных параметров электропривода и оценки резонансных амплитуд колебаний упругого момента. Приведены результаты анализа влияния зазорообразования на колебания в зонах главного и субгармонического резонансов и их особенностей, связанных с уровнем средней нагрузки передач и направления изменения частоты параметрических возмущений. Достоверность теоретических положений и выводов статьи подтверждают результаты промышленных испытаний различных схем редукторного электропривода поворота экскаватора при параметрических возмущениях, источником которых является зацепление шестерни с зубчатым венцом.

Ключевые слова: электропривод, электромеханическая система, параметрическое возмущение, резонанс, демпфирование, структурная схема.

Results of theoretical and experimental research of influence of damping, gaps on dynamics of electromechanical systems are given in zones of the main, harmonious and subharmonic resonance at parametrical disturbances. Design models of electromechanical systems are presented taking into account of spring linkages, pitch plays, a mechanical damping, variability of a gear ratio and reduction radius. The equations and the structural schematics given in the article describe the movement of the electromechanical systems in the initial values and the adopted system of generalized parameters and relative units. The electric drive is presented by a linear speed-torque characteristic taking into account electromagnetic inertia of power chains. Questions of linearization of electromechanical systems are considered at parametric perturbations and areas of parameters at which it is possible are revealed. Analytical relationships for definition of optimum parameters of the electric drive and an estimation of resonant amplitudes of oscillation of the elastic moment are gained. The results of the analysis of the effect of the formation of pitch plays on the oscillations in zones of the main and subharmonic resonances are given. Features of these oscillations depending on magnitude of average loading of transfer and a direction of change of frequency of parametric perturbations are specified. Reliability of theoretical rules and conclusions confirm results of industrial acceptances of various circuit designs of the reduction electric drive of the rotation gear of

excavating machine at the parametric perturbations caused by a gear meshing with the gear ring.

Key word: electric drive, electromechanical system, parametrical disturbance, resonance, damping, structural scheme.

Электротехника, 2018, №2, стр. 47-51

Экспериментальное исследование потерь мощности от несимметрии токов в трехфазных трансформаторах и четырехпроводных линиях 0,38 кВ

КОСОУХОВ Ф.Д., ВАСИЛЬЕВ Н.В., ПЕТРОВ В.Ф., КРИШТОПА Н.Ю.

Приведены результаты экспериментального исследования потерь мощности от несимметрии токов в трансформаторах Y/Z_H и Y/Y_H с коэффициентом трансформации, равным единице, и в линии 0,38 кВ на экспериментальной установке с несимметричной нагрузкой. Исследования выполнены для различных несимметричных режимов сети (однофазная, двухфазная, трехфазная несимметричная нагрузка, однофазная нагрузка с трехфазным асинхронным двигателем). Измерение токов, напряжений, мощности и др. физических величин выполнялись с помощью трех измерительных устройств «Энергомонитор 3.3», включенных в трех точках сети: в начале трансформатора, начале линии и узле нагрузок. Измерялись общие потери в трансформаторе и линии, а также коэффициенты обратной и нулевой последовательности токов, по которым определялся критерий потерь мощности от несимметрии токов в трансформаторе и в линии. На основании полученных экспериментальных данных выполнен анализ потерь мощности в трансформаторах и линии с применением критерия потерь мощности от несимметрии токов. Сравнение потерь в сети 0,38 кВ показывает значительное преимущество трансформатора Y/Z_H перед трансформатором Y/Y_H .

Ключевые слова: трехфазные трансформаторы, электрические линии 0,38 кВ, несимметричная нагрузка, потери мощности.

The results of an experimental study of power losses from the current unbalance in transformers 0.38 kV and lines in a pilot plant with an asymmetric load. The studies were conducted for a variety of single-ended mode network (single-phase, two-phase, three-phase unbalanced load, three-phase asynchronous motor). Physical values were performed using three measuring devices "Energomonitor 3.3", included in the three points of the network: at the beginning of the transformer, at the beginning of the line and the node loads. The total losses in the transformer and the line, and the feedback coefficients and the zero sequence currents were measured. Based on the experimental data analyzed power losses in transformers and lines using the criterion of

loss of power from the current unbalance. Comparison of network losses 0.38 kV shows a advantage to the transformer Y/Z_H .

Key words: three-phase transformers, power line 0,38 kV, unbalanced load, power loss.

Электротехника, 2018, №2, стр. 52-55

Статические электромагнитные характеристики однообмоточных втяжных броневых магнитных систем постоянного тока с плоским цилиндрическим полюсом

АФАНАСЬЕВ В.В., РУССОВА Н.В., СВИНЦОВ Г.П.

В программной среде FEMM определены статические кривые намагничивания и нагрузочные характеристики однообмоточных втяжных броневых магнитных систем постоянного тока с плоским цилиндрическим полюсом. Методами теорий подобия и планирования эксперимента характеристики представлены в виде обобщенных безразмерных полиномиальных моделей в форме удобной для решения задач синтеза. Оценена граница линейности магнитной системы.

Ключевые слова: магнитные системы, электромагнитные характеристики, кривая намагничивания, нагрузочная характеристика.

In program environment FEMM define static magnetization curves and load characteristics of single-winding plunger shell-type magnetic DC systems with a flat cylindrical pole. They are represented by methods of similarity theory and experiment planning in the form of generalized dimensionless polynomial models in the form convenient for the solution of synthesis problems. Estimated linearity limit of the magnetic system.

Key words: magnetic system, electromagnetic characteristics, magnetization curve, load characteristic.

Электротехника, 2018, №2, стр. 56-59

Определение параметров электрического генератора, работающего на основе использования магнитного поля Земли

ШКУРАТОВ А.В.

Рассмотрены вопросы, связанные с созданием генераторов электрической энергии для искусственных спутников Земли с использованием её магнитного поля. На основе анализа основных уравнений, описывающих работу электрического генератора, предложена

методика определения такого показателя, как вес генератора на единицу полезной мощности производимой электрической энергии. Найденные аналитические зависимости позволяют получить практические рекомендации по выбору основных параметров генератора.

Ключевые слова: электрический генератор, проводник, катушка, магнитное поле, искусственный спутник Земли.

Discusses issues related to the creation of electric power generators for satellites using its magnetic field. Based on the analysis of the basic equations describing the operation of the electric generator, the technique of definition of an indicator such as the weight of the generator unit of useful power produced by electric energy. Analytical dependences allow to obtain practical recommendations on the choice of the main parameters of the generator.

Key words: The electrical generator, conductor, the coil, magnetic field, artificial Earth satellite.

Электротехника, 2018, №2, стр. 59-63

Защита однофазного трансформатора от витковых замыканий в обмотках на встроенных магнитных трансформаторах

НОВОЖИЛОВ А.Н., ГОРЮНОВ В.Н., НОВОЖИЛОВ Т.А.

Предложена простая защита мощного однофазного трансформатора на встроенных магнитных трансформаторах, обладающая высокой чувствительностью к витковым замыканиям в его обмотках. Защита основана на измерении несимметрии магнитных потоков рассеяния обмоток трансформатора. Эта несимметрия определяется по разности электродвижущих сил обмоток двух магнитных трансформаторов, расположенных симметрично относительно плоскости симметрии защищаемого трансформатора. Магнитные трансформаторы предложено выполнять в виде однослойной обмотки с переменным шагом, намотанной на текстолитовый корпус круглого или прямоугольного сечения. При этом длину магнитного трансформатора принимается равной длине стержня магнитопровода трансформатора, что позволяет обеспечить независимость чувствительности защиты от места расположения замкнувшихся витков на стержне трансформатора. Для измерения разности ЭДС магнитных трансформаторов используется схема сравнения с реагирующим органом в виде реле тока РТ-40/0,2 или РТ1-П/0,15. Предложены методы определения порога срабатывания и чувствительности защиты к витковым замыканиям, а также к замыканиям на корпус.

Ключевые слова: релейная защита, однофазный трансформатор, витковое замыкание, однофазное замыкание на корпус, встроенные магнитные трансформаторы.

A simple protection of single-phase transformer with magnetic transformers which have highly sensitive to the inter-winding fault in its windings was developed. Its work is based on the measurement of unsymmetry of leakage flux of the transformer windings. This magnetic unsymmetry is determined by the difference of the electromotive force of the windings of the two magnetic transformers which are disposed symmetrically about the plane of symmetry of the protected transformer. Magnetic transformers are invited to serve as a single-layer winding with variable pitch wound on the body textolite round or rectangular cross-section. The length of the MT can be taken equal to the length of the rod of the magnetic transformer. What ensures the independence of the sensitivity of the protection on the location of shutting turns on the rod of the transformer. To measure the difference between the EMF magnetic transformers are used a comparison element with responsive element in the form of the well-known current relay type RT-40 / 0.2 or relays RT1-P / 0,15 were developed by the authors . In the article was presented the methods of determining the threshold and sensitiveness of interturn short-circuit protection and frame protection.

Keywords: relay protection, single-phase transformer, inter-winding fault, single-phase short to case, fixed magnetic transformers.

Электротехника, 2018, №2, стр. 64-69

Самовозбуждение автономных генераторов. Ч. 2. Исследование самовозбуждения асинхронного генератора с учетом стартера в виде остаточного напряжения на конденсаторах возбуждения

ДЖЕНДУБАЕВ А.-З.Р., ЧЕРНЫХ И.В.

В статье представлены результаты моделирования процесса самовозбуждения асинхронного генератора при использовании стартера в виде остаточного напряжения на конденсаторах возбуждения. Описана модель генератора, разработанная в трехфазной заторможенной системе координат и реализованная в среде MATLAB Simulink.

Результаты моделирования показали, что использование стартера в виде остаточного напряжения на конденсаторах возбуждения на начальном этапе сопровождается высокочастотным затухающим колебательным процессом, который плавно переходит в

нарастающий колебательный процесс с частотой ЭДС генератора. Рассмотрена роль стартера в запуске процесса самовозбуждения. Установлено, что при выполнении автогенераторных условий, то есть наличия положительной обратной связи, для запуска процесса самовозбуждения достаточно иметь сколь угодно малый стартер. При этом время самовозбуждения генератора может возрасти до «сколь угодно большого» значения. Показано, что при невыполнении автогенераторных условий мощный стартер может изменить параметры генератора вплоть до выполнения автогенераторных условий с последующим запуском асинхронного самовозбуждения.

Ключевые слова: асинхронный генератор, автогенератор, самовозбуждение, автоколебания, стартер, математическое моделирование.

The paper presents the results of simulations of the process of self-excitation of the asynchronous generator by using a starter in the form of residual voltage on excitation capacitors. The generator model, developed in the three-phase inhibited coordinate system and implemented in MATLAB Simulink. The results of simulations that have shown that the use of the starter in the form of residual voltage on excitation capacitors initially accompanied by a high-frequency decaying oscillatory process which proceeds smoothly in rising oscillation process with a frequency generator are presented. A starter role in the launch of self-excitation processes considered. It was found that during the autogenerating conditions, ie, the presence of positive feedback to start the process of self-excitation it is sufficient to have an arbitrarily small starter. At this time self-excitation of the generator can increase to "arbitrarily large" values. It is shown that in case of default of autogenerating conditions, powerful starter can change the parameters of the generator up to the implementation of autogenerating conditions followed by the launch of an asynchronous self-excitation.

Key words: asynchronous generator, oscillator, self-excitation, self-oscillation, starter, mathematical modeling.

Электротехника, 2018, №2, стр. 69-75

Моделирование режима ЛЭП СВН с учетом реальных характеристик потерь на корону

БАЛАМЕТОВ А.Б., ХАЛИЛОВ Э.Д., ИСАЕВА Т.М.

Рассмотрены вопросы повышения точности моделирования режимов ЛЭП СВН по данным, получаемым из современных интеллектуальных систем измерения. Исследованы

методические погрешности моделирования параметров режима ЛЭП СВН по уравнениям линии с распределенными параметрами. Предложены методика и алгоритм расчета режима ЛЭП СВН, основанные на уравнении линии с распределенными параметрами и с учетом реальных характеристик потерь на корону от напряжения и реактивного эффекта короны, повышающие точность моделирования. Для повышения точности моделирования режима ЛЭП СВН используется цепочечная схема замещения. Предложена и обоснована форма уравнений для моделирования потерь на корону ВЛ двумя составляющими. Первая составляющая представляется в уравнениях линии с распределенными параметрами в виде проводимости, вторая – в виде дополнительной нагрузки. Разработана программа для компьютерного моделирования режима ЛЭП СВН. Представлены результаты расчетов, полученные при исследованиях для линий 750 кВ.

Ключевые слова: воздушная линия, сверхвысокие напряжения, потери на корону, реактивный эффект короны, цепочечная схема линии, уравнения с распределенными параметрами, погрешности моделирования.

The problems, improve the accuracy of EHV transmission line modes simulation according derived from modern intelligent measurement systems. Abstract methodological error simulation mode settings for EHV transmission line equations with distributed parameters. The technique and algorithm of calculation EHV transmission lines mode based on the equation of a line with distributed parameters and taking into account the actual characteristics of corona losses on voltage and reactive corona effect increases the simulation accuracy. To improve the EHV transmission lines mode simulation accuracy of using chained equivalent circuit. Proposed and substantiated equations form to simulate the corona losses of the HV two components. The first component is represented in the equations in the form of constant distributed conduction of line, and the second component is represented as an additional load. Software for simulation EHV transmission lines mode is developed. Presented calculation results obtained for lines 750 kV.

Key words: air line, ultra-high voltage, vector measurements, corona losses, corona's capacitance, chained line diagram, equation with distributed parameters, error modeling.

Электротехника, 2018, №2, стр. 75-78

К оптимизации изоляции между двумя концентрическими сферами

ИВАНОВ Д.В., ОСТРЕЙКО В.Н., ЯРОШЕНКО Д.С.

Статья посвящена задаче повышения электрической прочности высоковольтной конструкции, соответствующей участку сферического конденсатора. В таком конденсаторе с радиусами сфер r_0 и $r_m > r_0$, определяющими изоляционный промежуток длиной $(r_m - r_0)$, диэлектрической проницаемостью ϵ_0 , поставленная задача решена с помощью дополнительного слоя изоляции. Этот слой с диэлектрической проницаемостью $\epsilon > \epsilon_0$ ограничен радиусами r_0 и $r_\epsilon < r_m$. Получен простой алгоритм расчёта оптимальной толщины $(r_m - r_\epsilon)$ этого слоя, минимизирующего максимальную напряжённость E_m в функции радиусов r_0 , r_m и относительной проницаемости $\epsilon/\epsilon_0 > 2$. Согласно расчётам снижение минимальной напряженности может достигать нескольких десятков процентов. Данный алгоритм преобразован также в алгоритм синтеза толщины указанного слоя, обеспечивающей заданное значение $\min E_m$. В удобной для практического использования форме выполнены расчёты оптимальных значений всех размеров конденсатора в функции диэлектрической проницаемости слоя и степени снижения напряжённости E_m .

Ключевые слова: сферический конденсатор, электрическая прочность, диэлектрическая проницаемость.

The article is devoted to objective for increasing the electric strength of high voltage construction, which stands for segment of concentric capacitor. In this capacitor with radius r_0 and $r_m > r_0$, defined insulating space with the value $r_m - r_0$ with dielectric capacity ϵ_0 , the object is solved under additional layer of insulation. This layer with dielectric capacity $\epsilon > \epsilon_0$ limited with radius r_0 and $r_\epsilon < r_m$. Simple calculation algorithm of optimum thickness $r_m - r_\epsilon$ of this layer, minimizing of maximum intensity E_m is received as a function of radius r_0 , r_m and specific conductivity $\epsilon/\epsilon_0 > 2$. According to calculation the reduction of $\min E_m$ can achieve several dozens of percents. This algorithm is transformed also to the synthesis algorithm of thickness of specified layer providing indicated value $\min E_m$. Optimum relative values of all capacitor as a function of dielectric capacity and level of reduction E_m are given in the Table which is convenient for practical use.

Key words: concentric capacitor, electric strength, dielectric capacity.