

Симметрирование асинхронного конденсаторного двигателя методами математического моделирования

БЕЛЯЕВ Е.Ф., ЦЫЛЕВ П.Н., ЩАПОВА И.Н.

Основным приоритетом при проектировании электрических машин является уменьшение электрических потерь и повышение энергетических показателей. При этом увеличение первоначальных затрат при изготовлении электрических машин из-за роста расхода активных материалов относительно быстро окупается снижением эксплуатационных расходов. Для однофазных электрических двигателей, в частности, конденсаторных асинхронных двигателей, обладающих электрической и магнитной асимметрией, совершенствование способов уменьшения электрических потерь представляет важнейшую задачу, для решения которой необходимо проведение исследований процесса их симметрирования. Предложена методика расчета рабочих и энергетических характеристик асинхронных конденсаторных электродвигателей, основанная на результатах решения уравнений электромагнитного поля. Определены параметры фазосмещающего конденсатора и коэффициент трансформации двигателя, при которых в воздушном зазоре существует круговое магнитное поле. Показано, что результаты расчета могут быть использованы для построения графических зависимостей коэффициента трансформации, емкости конденсаторов, напряжения на конденсаторе от скольжения и последующего анализа для получения наиболее рациональных решений.

Ключевые слова: однофазный асинхронный конденсаторный двигатель, математическое моделирование, круговое магнитное поле, коэффициент трансформации, емкость конденсатора.

The reduction of electrical losses and increase of energy performance is the priority in design of electrical machines. At the same time, there is an opportunity to compensate the increasing initial costs related to electric machine manufacturing, caused by an increasing consumption of active materials, by decreasing operating costs. In particular, it is an important issue to reduce the electric losses, when it comes to single-phase electric motors, capacitor asynchronous motors with electric and magnetic asymmetry, which requires in-depth studies of their symmetrization processes. A method for calculating performance and energy characteristics of asynchronous capacitor motors based on electromagnetic equations results is proposed. The issues of choosing phase-shifting capacitor parameters and motor transformation coefficient necessary for circular magnetic field appearance within the air gap are discussed. It is shown that

calculation results can be used for building transformation coefficient – motor slip and capacitor voltage – motor slip curves. Analysis of these curves can be used for optimal decision making.

Key words: single-phase asynchronous capacitor motors, mathematical modeling, circular magnetic field, transformation ratio, capacitor capacitance.

Электротехника, 2018, №6, стр.7–14

Влияние внутреннего сопротивления источника напряжения переменного тока на работу импульсного стабилизатора переменного напряжения

КОРШУНОВ А.И.

Исследуется влияние входного сопротивления источника напряжения переменного тока на свойства стабилизатора напряжения переменного тока, не только стабилизирующего уровень напряжения, но и корректирующего его форму. Построена предельная непрерывная модель силовой части, учитывающая выходное сопротивление источника напряжения. Определены ее эквивалентная электрическая схема с регулируемыми параметрами и статическая характеристика. Для среднего значения гармонической ЭДС источника определен желательный стационарный режим, соответствующий заданному гармоническому напряжению на нагрузке при интегральном регуляторе в двух вариантах: стабилизации непосредственно выходного напряжения и стабилизации входного напряжения сглаживающего *LC*-фильтра. Получены линеаризованные дифференциальные уравнения возмущенного движения, асимптотическая устойчивость тривиального решения которых гарантирует асимптотическую устойчивость невозмущенного стационарного режима и позволяет надеяться на устойчивость стационарных режимов, возникающих при допустимых отклонениях входного напряжения по величине и форме. Предложен способ численного определения основной матрицы линеаризованной системы дифференциальных уравнений возмущенного движения, имеющей периодические коэффициенты, собственные значения которой определяют устойчивость тривиального решения системы. Исследование основных свойств двух вариантов стабилизации напряжения в системе Matlab Simulink показало, что получить приемлемое качество стабилизации с исправлением формы напряжения можно только при исключении сглаживающего *LC*-фильтра из замкнутого контура стабилизации, что увеличивает выходное сопротивление стабилизатора.

Ключевые слова: стабилизатор напряжения переменного тока, внутреннее сопротивление источника.

Influence of internal resistance of a source of tension of alternating current on properties of a voltage stabilizer of the alternating current not only stabilizing the size of tension, but also correcting its form is investigated. The limit continuous model of power part considering the output resistance of a source of tension is constructed. Its equivalent electric circuit with adjustable parameters and the static characteristic is defined. For average value of harmonious EMF of a source the desirable stationary mode corresponding to the set harmonious tension on loading at the integrated regulator and two options of stabilization is defined: stabilization of directly output tension and stabilization of entrance tension of the smoothing *LC* filter. The linearized differential equations of the indignant movement which asymptotic stability of the trivial decision guarantees asymptotic stability of not indignant stationary mode are received and allows to hope for stability of the stationary modes arising at tolerances of entrance tension in size and a form. The way of numerical definition of the main matrix of the linearized system of the differential equations of the indignant movement having periodic coefficients which own values define stability of the trivial decision of system is offered. The conducted research of the main properties of two options of stabilization of tension in a Matlab-Simulink showed, possibly to receive acceptable quality of stabilization with correction of a form of tension only at an exception of the smoothing *LC filter* of the closed stabilization contour that increases an output resistance of the stabilizer.

Key words: voltage stabilizer of alternating current, internal resistance of a source.

Электротехника, 2018, №6, стр.15–18

Отбор малых мощностей от линий электропередачи 110–220 кВ

БУРЯНИНА Н.С., РОЖИНА М.А., КОРОЛЮК Ю.Ф., ЛЕСНЫХ Е.В.

В статье предлагается для электроснабжения «малых потребителей» воспользоваться емкостными отборами мощности от линий электропередачи напряжением 110–220 кВ. Мощность отбора может быть от нескольких киловатт до 150 кВт, рабочее напряжение отбора – 10 кВ, что позволяет обеспечить электроснабжение удаленных от линий электропередачи потребителей. Кроме классических схем отборов рассматриваются схемы с последовательным включением обмоток высокого напряжения трансформаторов 10 кВ. Емкостной делитель переносится на сторону низкого напряжения включением конденсаторов напряжением 0,4 кВ. Это позволяет существенно снизить затраты на

сооружение подстанций емкостного отбора. Для анализа режимов емкостных отборов используется метод реальных параметров. Показано, что при поддержании напряжения потребителей возможно выполнение автоматических устройств управления для компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: линии электропередачи 110–220 кВ, емкостной отбор мощности, конденсаторы, однофазные трансформаторы.

In this article, it is proposed to use capacitive power take-offs from power lines 110-220 kV for powering «small consumers». The power take-offs can be from several kilowatts to 150. It is assumed that the voltage of take-offs is 10 kV, which makes it possible to provide electricity to consumers remote from power lines. In addition to the classical power take-off schemes, circuits with sequential inclusion of high-voltage windings of transformers with a voltage of 10 kV are considered. The capacitive divider is transferred to the low-voltage side by the inclusion of capacitors for a voltage of 0.4 kV. This makes it possible to significantly reduce the cost of building the capacitive take-off of the power of the substations. For the analysis of the modes of operation of capacitive sampling, a method of real parameters is used. It is shown that maintenance of voltage among consumers can be carried out by means of automatic regulation with the help of reactive power compensation devices.

Key words: power lines 110–220 kV, capacitive power takeoff, capacitors, single-phase transformers.

Электротехника, 2018, №6, стр.18–23

Резервная тиристорная система возбуждения для турбогенераторов как альтернатива резервным электромашинным возбудителям

СИМОНОВ Б.Ф., КУЩ А.В., КАДЫШЕВ А.И., ХАРИТОНОВ С.А.

В статье рассмотрен состав резервной системы возбуждения на основе тиристорного преобразователя и шкафа управления, регулирования и защиты, а также описаны конструктивные особенности шкафов. Представлена функциональная схема управления возбуждением турбогенераторов, рассмотрены режимы работы турбогенераторов и резервной системы, описаны возможности системы возбуждения в режиме автоматического регулирования возбуждения турбогенератора. Регулятор представлен на базе автоматического регулятора возбуждения типа АРВ-НЛ с нечёткой логикой.

Приведены осциллограммы основных режимов работы генератора при испытаниях резервной системы возбуждения на теплоэлектростанции.

Ключевые слова: турбогенератор, система возбуждения, возбудитель, нечеткая логика.

Reserve thyristor excitation system for turbogenerators as a modern alternative to reserve electric machine exciters. The authors discuss the configuration of the backup excitation system based on thyristor converter and control-and-protection cabinet, and describe design features of cabinets. The scope of the article embraces a function chart of turbo generator excitation control and the automatic excitation control capacities of the system with a generator field regulator based on an auto-tuned fuzzy logic controller. Oscillograms obtained under basic modes of generator performance during testing the backup excitation system at a heat-power station are presented.

Key words: turbogenerator, excitation system, exciter, fuzzy logic.

Электротехника, 2018, №6, стр.23–26

Модернизация системы охлаждения силовых трансформаторов

ЯКИМОВ Н.Д., ДМИТРИЕВА О.С.

Отсутствие резерва мощности трансформаторов на подстанциях остро сказывается при отказе одного из них. К тому же эксплуатация трансформаторов в жаркий период времени года часто сопровождается их перегревом и нарушениями в работе системы охлаждения. В статье рассмотрена возможность модернизации системы охлаждения масляных трансформаторов. Рассмотрено устройство для дополнительного охлаждения масляного трансформатора с термоэлектрическими преобразователями, принцип работы которого основан на том, что в ночное время при минимальной температуре окружающего воздуха в емкости накапливается холод за счет образования на развитой поверхности ребер термоэлектрических преобразователей слоя льда, таяние которого используется в жаркий период времени суток для дополнительного охлаждения трансформаторного масла в системе охлаждения трансформатора. Дано математическое описание процесса образования льда на ребрах постоянной толщины в воде. Проанализированы результаты исследований по оценке зависимости толщины льда от разных параметров. Показано, что толщина слоя льда распределяется вдоль ребра по параболе. При этом соотношение максимальной толщины и длины участка обмерзания не зависит от теплового режима, а зависит практически только от тепловой проводимости ребра. С увеличением толщины

ребра слой льда по его длине становится более равномерным при одинаковом интервале времени обледенения. Необходимо увеличивать тепловую проводимость ребра за счет его толщины, а также более высокого коэффициента теплопроводности материала ребра.

Ключевые слова: силовые трансформаторы, системы охлаждения, модернизация.

The lack of transformers reserve capacity on substations badly affects when one fails. In addition, the operation of the transformers in the hottest period of the year is often accompanied by incidents of overheating and other disorders of cooling system. The article describes the possibility of upgrading the cooling system of the oil transformer. The device for additional cooling of the transformer oil using the thermoelectric transducers is developed. The operating principle of the device is based on the following. At night, when temperature of ambient air is minimum the water ice is produced and cold stores in the container. This cold is used at the hottest daytime. The mathematical formulation of the water ice formation process on the fin surface with uniform thickness immersed into water is presented. We analyzed the dependence of water ice thickness on various parameters. It is shown, that thickness of the ice layer is distributed along the fin length by parabola. The ratio of the maximum thickness and length of the freezing zone does not depend on the thermal conditions, but almost exclusively on the thermal conductance of fins. The fin thickness increasing causes a uniform distribution of the ice layer along the fin length at the same time interval. It is necessary to increase the thermal conductance of the fin by increasing the fin thickness and the thermal conductivity of the fin material.

Key words: power transformers, cooling systems, modernization.

Электротехника, 2018, №6, стр.27–32

Исследование импульсного регулятора тока для дуговой печи постоянного тока
РУБЦОВ В.П., ХОМЯКОВ И.В.

Предложен метод исследования импульсного регулятора тока дуговой печи постоянного тока. Показана целесообразность перехода от источников питания на основе управляемых выпрямителей к использованию широтно-импульсных транзисторных преобразователей. Обоснована структурная схема регулятора тока и его имитационная модель, составленная в пакете прикладных программ Simulink, позволяющая проводить анализ и синтез системы регулирования. Вводится система относительных величин, позволяющая получить обобщенные зависимости показателей работы регулятора от его параметров для

широкого класса дуговых печей постоянного тока. Приведена методика исследования импульсного регулятора тока дуги, основанная на осциллограммах переходных функций изменения напряжения источника питания, напряжения и тока дуги. Анализируются результаты сравнения динамических характеристик регуляторов тока дуги с источником питания на основе регулируемого постоянного напряжения, управляемого выпрямителя и импульсного источника питания с широтно-импульсной модуляцией.

Ключевые слова: дуговая печь, широтно-импульсный регулятор тока дуги, имитационная модель.

The method of researches of the pulse current regulator of the arc furnace DC is suggested. Developed a structural scheme of the controller and the simulation model prepared in Simulink application package programs, allowing an analysis and synthesis system of regulation. A system of relative values, allowing to obtain a generalized dependence of the performance of the regulator outside of the parameters for a wide class of arc furnaces DC is done. The technique of researches of the pulse current regulator of the arc based on the waveform transition functions change the voltage of the power source of the arc voltage and the arc current is given. Results of the comparison of the dynamic characteristics of the current controllers of the arc with the power supply on the basis of adjustable constant voltage, controlled rectifier and switching power supply pulse width modulation are analyzed.

Key words: arc furnace, pulse width modulated current controller, simulation model.

Электротехника, 2018, №6, стр.33–39

Перестраиваемый импульсный высоковольтный модулятор с полным разрядом формирующей линии

ЩЕРБАКОВ А.В.

Рассмотрена электрическая схема модулятора на выходное напряжение до 10 кВ, позволяющего оперативно, за время паузы между импульсами около 2 мс, изменить длительность импульса на нагрузке от 10 до 30 мкс. Для возможности увеличения амплитуды импульса до 60 кВ используется импульсный трансформатор. При длительности импульса более 5 мкс наиболее целесообразно использовать искусственные формирующие линии на основе дискретных элементов: конденсаторов и индуктивностей, собираемых в виде Г-образных L-C цепочек. Длительность импульса на нагрузке

изменяется путём изменения количества блоков таких цепочек формирующей линии, собранных по лестничной схеме. Используются мягкие по управлению коммутаторы, например импульсные тиристоры IGBT модулей HiPak™, типа 5SNA 0400J650100 на напряжение 6500 В и ток 400 А, обладающим минимально возможным внутренним сопротивлением по сравнению с тиратронами. Компьютерное моделирование в схемотехнической программе позволяет оптимизировать предварительно полученные результаты расчёта формирующей линии собранной из Г-образных L-C цепочек для заданного значения нагрузки около 500 Ом. Проведена модельная оптимизация элементов схемы и коммутаторов. Моделируются параметры комплектующих, по критерию минимальной себестоимости и надёжности при сохранении заданных электротехнических характеристик. Предпочтение отдаётся схемотехнической программе EWB и Multisim.

Ключевые слова: импульсный модулятор, лестничная формирующая линия с полным разрядом емкостного накопителя, оперативная перестройка длительности импульса, компьютерное моделирование.

The electric circuit of the modulator on the output voltage up to 10 kV, allowing to quickly, during the pause between pulses is about 2 ms, to change the pulse duration at the load 10 to 30 μ s is considered. For the possibility of increasing the pulse amplitude up to 60 kV using a pulsed transformer. At a pulse duration of more than 5 μ s is most appropriate to use artificial forming lines based on discrete elements, capacitors and inductors, collected in the form of Г-shaped L-C chains. The pulse duration at the load is changed by changing the number of units of such chains forming line, collected on a ladder diagram. The «soft» management switches, such as switching thyristors IGBT modules HiPak™, type 5SNA 0400J650100 voltage 6500 V and a current of 400 A, and has the lowest possible internal resistance compared with thyratrons are used. Computer simulation in circuit the program allows you to optimize the previously received results of calculation of the forming line assembled from l-shaped L-C combinations for the specified load value of about 500 Ohms. We performed model optimization of circuit elements and switches. The modeled parameters of components, from the viewpoint of obtaining a minimum cost and reliability while maintaining the specified electrical characteristics. A preference circuit the software EWB and Multisim.

Key words: pulse modulator, forming a ladder line with a full charge of the capacitor, the operational restructuring of the pulse duration, computer simulation.

Электротехника, 2018, №6, стр.39–43

Потери в магистральных шинопроводах

ВОРОНИН С.В., МАТАНЦЕВ А.Н.

В последние годы практически все шинопроводы стали создавать по пакетному принципу, когда шины, проходя через изоляцию, плотно сжаты в пакет и размещены в защитном металлическом корпусе. Такая конструкция позволяет получать минимальное индуктивное сопротивление фазных шин и, следовательно, характеризуется минимальными дополнительными потерями. Однако расчет таких систем очень громоздок. Как результат, используются не оптимальные конструкции. В статье дается простая модель расчета с учетом скин-эффекта, эффекта близости и экранирования. Теоретические данные сравнены с практически полученными на полномасштабном заводском стенде испытаний отечественных магистральных шинопроводов KLM-S.

Ключевые слова: шинопровод, потери мощности, активное сопротивление, индуктивное сопротивление, переходное сопротивление.

In recent years, almost all the bus bars to create a batch basis, when the bus through the insulation tightly compressed into a package and placed in a protective metal case. This design allows to obtain the minimum inductive reactance of the phase of the tire, and therefore, minimal additional losses. However, the calculation of such systems very cumbersome. As a result, are not the optimal design. This article provides a simple model calculation, taking into account skin effect, proximity effect and shielding. Theoretical data are compared with the practically obtained on a full-scale factory stand test-the domestic trunk busbars KLM-S.

Key words: busbar, power loss, active resistance, inductive reactance, resistance

Электротехника, 2018, №6, стр.44–47

Физическая модель устройств силовой электроники на базе статических преобразователей напряжения

БУРКОВСКИЙ В.Л., ДАНИЛОВ А.Д., ЛИТВИНЕНКО А.М., КРЫСАНОВ В.Н., РУЦКОВ А.Л.

Рассмотрена физическая модель тиристорного регулятора переменного напряжения с

микроконтроллерным управлением, работающего на активно-индуктивную нагрузку. Для повышения уровня энергоэффективности существующих электроэнергетических систем важным условием является организация регулирования уровня напряжения питающих центров выше или ниже номинального значения. В существующих структурах коэффициент трансформации в большинстве случаев является постоянным, что не позволяет учесть реальные неравномерности потребления электрической энергии. Применение в составе трансформаторного оборудования тиристорного регулятора напряжения даёт возможность решить указанную проблему. Представляется перспективным предварительный этап физического моделирования описанного процесса посредством создания программно-технического комплекса, позволяющего имитировать процесс транспорта электрической энергии от центров питания к потребителю.

Ключевые слова: физическое моделирование, тиристорный регулятор напряжения, микроконтроллерное управление, энергоэффективность.

The physical model of thyristor AC voltage regulator with microcontroller control, working in an active-inductive load is considered. To increase the level of energy efficiency of existing electric power systems is important for the organization regulation of the voltage level of power centers both above and below the nominal value. In existing structures the transformation ratio in most cases is a constant, which does not take account of the uneven consumption of electric energy. The use in transformer equipment thyristor voltage regulator makes it possible to solve the marked problem. In this regard, it is promising preliminary stage of the physical modeling process described earlier, through the creation of program-technical complex that allows to simulate the process of transport of electrical energy from substations to the consumer.

Key words: physical modeling, thyristor voltage regulator, MCU control, energy efficiency.

Электротехника, 2018, №6, стр.48–50

Об улучшении эксплуатационных свойств кабелей с полимерной изоляцией

КРЫШТОБ В.И., РАСМАГИН С.И., ВЛАСОВА Т.В.

Рассмотрены основные причины, препятствующие улучшению эксплуатационных свойств электрических кабелей с полимерной изоляцией. Сегодня в России для большей части электрических кабелей в качестве полимерной изоляции используют композиции на основе поливинилхлорида. Как и большинство полимеров, последний достаточно чувствителен к тепловому старению, которое считается одной из главных причин

возникновения различного рода дефектов полимерной изоляции, приводящих со временем к короткому замыканию и пожару. На основе экспериментальных данных показано, что в условиях теплового старения в макромолекулах поливинилхлорида образуются «вшитые» цепочки полиеновых сопряжённых связей, которые, собственно, и являются основной причиной ухудшения электроизоляционных свойств полимерной изоляции из поливинилхлорида. Значительно меньшую роль играет введение в полимерную матрицу пластификаторов традиционного типа (фталатов, фосфатов и др.). Таким образом, для создания нового поколения полимерной изоляции в первую очередь требуется создание новых типов стабилизаторов, способных не только к эффективной ликвидации образующихся полиеновых сопряжённых связей углерода при тепловом старении, но и к дополнительному улучшению всего комплекса физико-механических, эксплуатационных и технологических свойств полимерной изоляции.

Ключевые слова: кабели, полимерная изоляция, стабилизаторы, улучшение электроизоляции.

The main causes to a improvement of operational properties of electrical cables with polymer insulation are considered. Today in Russia for the most part as an electrical cable insulation use as compositions based on of PVC. Like most polymers, PVC sufficiently sensitive to thermal aging, which is considered one of the main causes of the various types of faults in the polymeric insulation, eventually leading to a short circuit and fire. In this paper, an example of the experimental data shows that in the conditions of thermal aging in the PVC macromolecules formed «sewn» polyene chain of conjugated bonds. These chains are the main cause of deterioration of the dielectric properties of the polymer insulation of PVC. It plays a much smaller role in the introduction of the polymer matrix of the traditional type plasticizer (phthalates, phosphates, etc.). Thus, a new generation of polymeric insulation requires the creation of new types of stabilizers. These stabilizers ensure the effective liquidation of the resulting conjugated polyene carbon bonds during thermal aging and further improve the whole range of physical, mechanical, operational and technological properties of the polymer insulation.

Key words: cables, polymer insulation, stabilizers, improved insulation.

Высокооборотный магнитоэлектрический генератор повышенной мощности

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

В программном комплексе *Ansoft Maxwell*, модуль *RMXprt* выполнено исследование эффективности повышения мощности магнитоэлектрического генератора (МЭГ). Исследуемый МЭГ имел четыре полюса, его магнитная система представляла собой цилиндрические постоянные магниты, равномерно расположенные по диаметру ротора. Направление намагниченности постоянных магнитов ротора – радиальное. Для оценки теплового состояния МЭГ использовался программный комплекс *Solid Works Flow Simulation*. Представлена оценка эффективности применения магнитной системы Хальбаха в высокооборотных магнитоэлектрических преобразователях энергии. Проведены исследования влияния отношения полюсной дуги ротора к полюсному делению, в результате которых установлено, что уменьшение полюсной дуги позволяет снизить коэффициент гармонических искажений (*THD*), но при этом происходит увеличение плотности тока и снижение тока КЗ. Поэтому при использовании данного метода необходимо оценивать комплексно все эти параметры. По результатам исследований проведены расчёты высокооборотного МЭГ мощностью 450 кВт с частотой вращения ротора 50000 об/мин и жидкостным охлаждением.

Ключевые слова: высокооборотный магнитоэлектрический генератор повышенной мощности, высококоэрцитивные постоянные магниты, *Ansoft Maxwell*, *Solid Works Flow Simulation*.

In the software package *Ansoft Maxwell RMXprt* module is made study of the efficiency increase the power of the magneto-electric generator generator (MEG). Analyzed MEG has 4 poles, its magnetic system is a cylindrical permanent magnets are evenly spaced along the diameter of the rotor. The direction of magnetization of the permanent magnet rotor radial. To estimate the thermal state of MEG used software package *Solid Works Flow Simulation*.

Present an assessment of the effectiveness of Halbach magnet system in high-speed magneto-electric energy converters. Studies of the effect produced by the relationship of the rotor pole arc to pole pitch, which resulted in found that the decrease in the pole arc reduces *THD*, but it is an increase in current density and reduced short-circuit current. Therefore, when you use this method to assess comprehensively all of these parameters. According to the research made high-speed calculations MEG capacity of 450 kW with a rotor speed of 50,000 rev / min and liquid-cooled.

Key words: high-speed magnetoelectric generator high, highly coercive permanent magnets, Ansoft Maxwell; Solid Works Flow Simulation.

Электротехника, 2018, №6, стр.57–61

Энергосберегающая система управления для орбитального электропривода муфты пресса

БОГДАНОВ А.О., ЛИТВИНЕНКО А.М.

Рассмотрена система управления орбитальным электроприводом муфты пресса, способная снизить его энергопотребление. Поскольку площадь перекрытия статора роторами не полная, для снижения энергопотребления предложено отключать неиспользуемую часть статора. Для этого необходим датчик положения роторов, а также алгоритм для определения площади перекрытия в зависимости от положения роторов. Приведен алгоритм расчета, который можно применить к орбитальным электроприводам различных конфигураций. Алгоритм позволяет построить карту ротора и статора в зависимости от угла, и при наложении карт друг на друга получаем площадь перекрытия ротора и статора. Это позволяет применить методы оптимизации для определения оптимального закона управления.

Ключевые слова: орбитальный электропривод, муфта пресса, оптимальное управление, энергосбережение.

This article describes the control system for orbital electric drive of couplings press that can reduce power consumption. Because in this structure the area of overlap of the stator-rotor is not complete, to reduce power consumption is offered to turn off the unused part of the stator. Rotor position sensor is necessary to solve this problem, as well as an algorithm for determining the area of overlap according to the position of the rotors. The algorithm of calculation that can be applied to orbital electric drives of different configurations. The algorithm allows to construct a map of the rotor and stator according to the angle, we get overlapping area of rotor and stator by overlaying maps at each other. After that methods of optimization are applied for finding the optimal control law.

Key words: orbital electric drive, coupling press, optimal control, energy saving

Об однофазных замыканиях на землю в электрической сети 20 кВ

МАЙОРОВ А.В., ЧЕЛАЗНОВ А.А., ШУНТОВ А.В.

Представлены результаты экспериментальных исследований однофазных замыканий на землю в пофазно-экранированных кабелях системы электроснабжения сравнительно новой в России ступени напряжения 20 кВ. Она имеет низкоомное резистивное заземление нейтрали в отличие от широко распространенных в стране электрических сетей 6–10 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью. Поэтому расчетные условия обоснования и выбора номинальных параметров пофазно-экранированных кабелей 6–10 и 20 кВ могут заметно различаться. Показано, что если для кабелей 6–10 кВ расчетным при выборе экранов является двухместное (двухфазное на землю) КЗ, то для кабелей 20 кВ – значительно менее жесткое с позиций термической стойкости однофазное замыкание на землю. Двухфазные КЗ в сетях 20 кВ практически исключены за счет значительно меньших уровней перенапряжений в сети при коммутациях и сравнительно малого (0,25–1,0 с) времени отключения повреждений. Экспериментально установлено, что однофазные замыкания на землю в пофазно-экранированных кабелях 20 кВ не переходят в многофазные КЗ. Обосновано, что выбор экранов пофазно-экранированных кабелей 20 кВ по току однофазного замыкания на землю облегчает требования к термической стойкости проводников, что принципиально и важно с позиций снижения стоимости проводниковой продукции и потерь мощности и энергии в электрических сетях.

Ключевые слова: электрические сети 20 кВ, пофазно-экранированные кабели, однофазные замыкания на землю, короткие замыкания, электрическая дуга.

The results of experimental studies of single-phase earth fault in per phase-shielded cables, the power supply system is relatively new in Russia 20 kV voltage level. It has a low-impedance resistive neutral earth, in contrast to the widespread in the country electric networks 6–10 kV with isolated or compensated neutral. Therefore, the design conditions of study and the choice of nominal parameters of per phase-shielded cables 6–10 and 20 kV can vary significantly. It is shown that if the cable 6–10 kV calculated when selecting screens is double (two-phase to earth) fault then for 20 kV cables – much less rigid from the standpoint of thermal stability of single-phase earth fault. Double faults in the networks of 20 kV are virtually eliminated due to significantly lower levels of surge in the network when switching and relatively small (0,25–1,0 s) time off damage. It was established experimentally that the single-phase earth fault in per

phase-shielded cables of 20 kV will not enter multi-phase faults. It is proved that the choice screen-shielded cables per phase 20 kV and current of single-phase earth fault eases requirements for thermal resistance conductors that principle and it is important from the standpoint of reducing the cost of wires and loss of power and energy in electrical networks.

Key words: electrical network 20 kV, per phase-shielded cables, single-phase earth fault, short circuit, electric arc.

Электротехника, 2018, №6, стр.66–71

Влияние частоты переменного тока на массогабаритные показатели трансформаторов и асинхронных двигателей малых мощностей

ШОГЕНОВ А.Х.

Принятые в мировой практике частоты переменного тока 50 и 60 Гц никогда не обосновывались технико-экономически как оптимальные для всех составляющих электроэнергетических систем, электроустановок и электрооборудования. Более того, теория и практика показывают, что для многих электромагнитных аппаратов и электромеханических устройств, применяющихся в авиации и флоте, в строительных и дорожных машинах с мотор-колёсами, в сельскохозяйственном производстве, лесозаготовительных, деревообрабатывающих и др. отраслях экономики и инфраструктуры, рациональны повышенные частоты ($f > 60$ Гц) переменного тока. Между тем в этих работах, с одной стороны, «оптимальным» считается широкий диапазон частот (100–500 Гц), с другой – предлагаются громоздкие аналитические выражения для обоснования и расчётов конкретных технологических устройств, машин и механизмов с применением электромагнитных аппаратов, типичными представителями которых являются трансформаторы и наиболее распространённые в мировой практике асинхронные электродвигатели. В статье предложены упрощённые методы анализа влияния частоты переменного тока на массогабаритные показатели трансформаторов и асинхронных двигателей малых мощностей, которые позволяют ограничить оптимальный диапазон частоты для них до 200–400 Гц и получать приемлемые результаты инженерных расчётов такого влияния.

Ключевые слова: электромагнитные аппараты, трансформаторы, асинхронные двигатели, системные частоты, повышенная частота.

Adopted in world practice, the alternating current frequency 50 and 60 Hz never established a technical and cost as an optimum for all components of electric power systems, electrical installations and electrical equipment. Moreover, theory and practice show that many electromagnetic devices and electromechanical devices used in aviation and the navy, in construction and road cars with motor–wheels, agricultural production, timber, timber processing, etc. sectors of the economy and infrastructure, sustainable higher frequencies ($f > 60$ Hz) AC. Meanwhile, in these works, on the one hand are used as «optimal» a wide range of frequencies (100–500 Hz) and the proposed cumbersome analytical expressions, etc. for justification and calculations specific means of technological devices, machines and mechanisms with the use of electromagnetic devices, typical representatives of which are transformers, and the most common in the world practice, asynchronous motors. In the suggested simplified methods of analysis of the effect of AC frequency on the dimensions and weight of transformers and induction motors of small capacity, which allow you to narrow down the optimum frequency for them to 200-400 Hz and to obtain the acceptable results of the engineering calculations specified influence.

Key words: electromagnetic devices, transformers, induction motors, system frequency, higher frequency.

Электротехника, 2018, №6, стр.71–74

О природе электрического резонанса

АЛИЕВ И.И.

В статье анализируются электромагнитные процессы, возникающие в резонансных системах, в том числе в резонансной однопроводной системе передачи электроэнергии. В такой системе передается только реактивная мощность в противоположность обычным системам передачи электроэнергии. При этом плотность передаваемой мощности и плотность тока в однопроводной системе соизмеримы с аналогичными показателями кабельных линий с высокотемпературной сверхпроводимостью. Важнейшим условием передачи энергии в однопроводных системах является настройка в резонанс передающего и приемного контуров. Показано, что при резонансе в колебательном контуре его реактивные элементы – катушка и конденсатор периодически запасают реактивную мощность, которая многократно превышает активную, потребляемую цепью из сети. Приводятся соображения, объясняющие это явление и проясняющие природу электрического резонанса. Высказано предположение, что резонанс в электрической цепи

есть результат сложения вынужденных электромагнитных колебаний в пространственной структуре элементов цепи – катушки и конденсатора, и пространственных колебаний возбужденного эфира, заполняющих эти структуры. Избыточная электрическая энергия, создаваемая при резонансе в катушке и конденсаторе, есть энергия возбужденного эфира.
Ключевые слова: однопроводная линия, электрический резонанс, колебательный контур, реактивная мощность, эфир.

In the article electromagnetic processes arising in resonant systems, including the single-wire resonant transmission line are analyzed. In such system only reactive power is transferred in contrast to the usual systems of power transmission. At the same time density of the transferred power and density of current in single-wire system are commensurable to similar features of cable lines with high-temperature superconductivity. The most important condition of energy transmission in single-wire system is tuning for a resonance of supply and reception contours. It is shown that at a resonance in an oscillatory contour his elements – the coil and the condenser – periodically store reactive power which repeatedly exceeds the active power consumed supply from network. This surprising phenomenon to which the attention in literature wasn't paid, at first sight breaks the law of energy conservation. Reasons which explain the specified phenomenon are given and clear up the nature of an electric resonance. It is suggested that the resonance in an electric network is the phenomenon of addition of forced electromagnetic oscillations in spatial structures of elements of a chain – the coil and the condenser, and the spatial fluctuations of the excited ether filling these structures. The excess electric energy created at a resonance in the coil and the condenser is energy of the excited ether.

Key words: single-wire line, electric resonance, oscillating circuit, reactive power, ether.

Электротехника, 2018, №6, стр.74–81

Расстановка устройств компенсации реактивной мощности в радиальной распределительной сети Московской области

ТУЛЬСКИЙ В.Н., ВАНИН А.С., МОХАМЕД А. ТОЛБА, ЗАКИ ДИЯБ А.А.

Распределительные сети являются частью электроэнергетической энергосистемы, к которой непосредственно присоединяются конечные потребители. В связи с развитием технологий, появлением новых электроприемников, увеличением плотности населения эти сети становятся все более сложными, нагрузки в элементах увеличиваются, растут

потери мощности и напряжения в сети, что приводит к нарушениям нормативных требований. Эти проблемы рассмотрены в статье на примере фрагмента сети Московской области. Приведенное в статье исследование является частью научного проекта, цель которого – улучшение качества электроэнергии в распределительной сети путем анализа существующего состояния и разработки корректирующих мероприятий. Измерения проводились при помощи анализаторов качества электроэнергии в режимах наибольших и наименьших нагрузок. Для решения проблемы большого отрицательного отклонения напряжения предложена установка компенсаторов реактивной мощности. В статье предлагается решение данной проблемы в два этапа. На первом этапе определяются коэффициенты чувствительности потерь и отбираются узлы-кандидаты для установки компенсирующих устройств. Это позволяет значительно уменьшить пространство поиска для оптимизационного алгоритма, тем самым уменьшая время расчета и увеличивая его сходимость. На втором этапе применяется гибридный метод роя частиц для оптимальной расстановки компенсирующих устройств среди отобранных узлов и выбора их мощности. Гибридный метод оптимизации объединяет метод роя частиц (МРЧ) и квазиньютоновский алгоритм, который применяется после достижения критерия останова МРЧ. Квазиньютоновский алгоритм применяется для уменьшения время выполнения итераций и повышения сходимости МРЧ. Численное моделирование выполнено в программной среде MATLAB. На основе измерений в распределительной сети Московской области была составлена 111-узловая расчетная модель. Результаты измерений показывают, что уровень напряжения в узлах присоединения потребителей в зимнее время значительно выходит за допустимые границы, определяемые ГОСТ 32144-2013. Значительные нарушения качества электроэнергии в сети связаны с недопустимыми значениями установившегося отклонения напряжения. Предложенный гибридный алгоритм расстановки устройств компенсации реактивной мощности позволяет снизить потери электроэнергии в сети, уменьшить отклонение напряжения, повысить коэффициент мощности в сети.

Ключевые слова: распределительные сети; качество электроэнергии; компенсация реактивной мощности; коэффициент чувствительности потерь; гибридный метод роя частиц; снижение потерь активной мощности.

Electric distribution networks are the final connection between the bulk of power system and the consumers. Nowadays due to the technology development and increasing highly in the number of population, these networks are becoming more complex and large causing the consumers to

consume high amount of reactive power. Therefore, the power losses and voltage drop become very high in addition, the voltage profile suffers from disturbances. In this regards, this paper introduces Moscow region as one of the distribution networks that are suffering from the mentioned problems. The developed case study of Moscow region is a part of a research project in Russia. The objective of this project is to improve the power quality in this system by measuring and analysis system parameters and then solving these problems. In this paper, the voltage profile disturbances have been deemed as power quality problem. The measurement is done using power analyzer devices. To overcome this power quality problem, the reactive power compensation using shunt capacitor banks is considered as the suitable solution. This paper presents two stages to solve the problems of optimal shunt capacitor allocations and size in Moscow region distribution network. In the first stage, the loss sensitivity factor (LSF) is employed to determine the most candidate buses for capacitor banks allocation. The area of search is greatly reduced and consequently the time consumed in optimization process by using LSF. The second stage introduced the proposed hybrid particle swarm (HPSO) optimization algorithm is employed to deduce the locations of capacitors and their sizing from the selected buses. The proposed hybrid optimization method combines the particle swarm (PSO) and the Quasi-Newton (QN) technique in learning phase after finishing the criterion of PSO be satisfied. The QN algorithm is constructed to decrease the time between each particle and iteration with increasing the accuracy of PSO process. Numerical results have been obtained by MATLAB package. The practical measurement results of Moscow region case study model are implemented, which consists of 111-bus system. The measurements of the Moscow Region network are recorded as week in summer and week in winter. According to the measured results, the voltage profile in winter season in comparison with summer season decreases remarkably below the standard limits of Russian GOST 32144-2013. Therefore, the voltage profile is disturbed that leads to the disturbances in power quality. The proposed hybrid particle swarm optimization (HPSO) with loss sensitivity factor improve the voltage profile, increase the net saving, decrease the system losses and increase the power factor of the model system with high performances.

Key words: radial distribution system; power quality; capacitor allocation; reactive power compensation; loss sensitivity factor; hybrid particle swarm optimization algorithm; voltage profile; net saving.