

Электротехника, №8, 2015

Двенадцатипульсная схема выпрямителя на базе кольцевой схемы с уравнительным реактором

ИГОЛЬНИКОВ Ю.С., КУРГАНОВ А.А.

Рассматривается схема двенадцатипульсного выпрямителя на базе кольцевой схемы с уравнительным реактором. Показано наличие ряда положительных качеств по сравнению с известными: одинаковая длительность протекания тока через вентили, равная 120 эл. град., одновременная параллельная работа двух вентилях кольцевой схемы, унификация вторичных обмоток трансформатора (две звезды или два треугольника), возможность подключения дополнительной нагрузки к нулевым точкам вторичной обмотки и одновременная работа на разные нагрузки и в шестипульсном, и в двенадцатипульсном режимах. Рассмотрен принцип работы схемы и приведены основные соотношения для расчета трансформатора, вентильных элементов и уравнительного реактора. Результаты моделирования и экспериментальной проверки на макетном образце во всех режимах подтверждают возможность её практического использования. Приведены осциллограммы, полученные при моделировании и экспериментальной проверке. Моделирование схемы при параметрах элементов, соответствующих макетным образцам, показало возможность повышения КПД, а также снижения потерь в полупроводниковых приборах до 20%.

Ключевые слова: трехфазный трансформатор, уравнительный реактор, вентиль, моделирование, напряжение, ток.

The paper considers the twelve-rectifier circuit based on a ring circuit with smoothing reactor. Analysis of the scheme revealed several positive qualities in comparison with known. These include: the same duration of current flow through the valves equal 120el . deg. simultaneous parallel operation of two valves ring circuit, performing unification transformer secondaries – two stars or two triangles, the ability to connect to the zero point of the secondary winding and the additional load on the simultaneous operation of different loads in a sixpulse and the twelve modes. We consider the principle of the scheme, and basic relations for calculating transformer, rectifier elements and circulating reactor. The results of modeling and experimental verification on the model sample in all modes are the basis for its practical use. Waveform shown in the simulation and experimental verification. Circuit simulation for the parameter values according to the elements of the model sample showed a decrease in losses in semiconductor devices up to 20% and increase efficiency.

Key words: three phase transformer, surge reactor valve, modeling, voltage, current.

Электротехника, №8, 2015

Гармонический анализ выходного напряжения параллельных многоуровневых преобразователей с фиксирующими диодами при различных способах ШИМ

ДЫБКО М.А., БРОВАНОВ С.В., НОС О.В.

Многоуровневые полупроводниковые преобразователи с фиксирующими диодами используются в различных областях электротехники и электроэнергетики, где требуется

относительно высокое рабочее напряжение (1–20 кВ). К ним относятся системы накопления электроэнергии, статические компенсаторы, силовые активные фильтры, системы генерирования электроэнергии и др. Однако при большой установленной мощности электротехнических систем возникает необходимость реализовывать параллельное (модульное) включение преобразователей. При этом одним из факторов, влияющих на качество преобразования электрической энергии при параллельном включении является способ реализации ШИМ, а именно форма опорных сигналов и их относительный фазовый сдвиг друг относительно друга. В статье выполнен гармонический анализ выходного напряжения параллельных многоуровневых преобразователей с фиксирующими диодами при различных способах реализации ШИМ. Представлены результаты сравнения коэффициентов гармоник выходного напряжения для различных вариантов параллельных преобразователей для треугольного и пилообразного опорных сигналов.

Ключевые слова: многоуровневые преобразователи, параллельное включение, уравнивающие реакторы, способ ШИМ, опорный сигнал.

Multilevel voltage source converters are typically used in the high voltage applications. Some known applications are energy storage systems, static synchronous compensators (STATCOMs), active power filters, electric drive systems, power supplies etc. On the other hand in case of relatively high rated power of a system it becomes reasonable to use some modular structures, including parallel connected converters. In this context one of the key factors affecting the system's power quality is PWM technique. It is known that for parallel connected converters waveform and phase shift of the carrier based PWM directly forces the power quality. This paper analyzes output voltage of several voltage source converters connected in parallel from the PWM carrier waveform point of view. The voltage source converters are considered to be connected in parallel using the current sharing reactors. Triangle and sawtooth carriers are analyzed for the interleaved phase shifted PWM. Total harmonic distortion (THD) of the output voltage is estimated for two mentioned carrier types.

Key words: multilevel NPC converters, parallel connection, current sharing reactors, PWM technique, carrier based.

Электротехника, №8, 2015

Влияние конструктивных особенностей трансформатора с вращающимся магнитным полем на качество выходного напряжения автономного инвертора

КУЗЬМИН И.Ю., ЧЕРЕВКО А.И., ЛИМОННИКОВА Е.В.

Рассматриваются автономные инверторы, построенные на базе трансформатора с вращающимся магнитным полем. Эти полупроводниковые преобразователи характеризуются высоким качеством питающего и выходного тока и напряжения благодаря использованию трансформатора, имеющего полную геометрическую, электрическую и магнитную симметрию. Установлено, что качество выходного напряжения автономного инвертора зависит не только от алгоритмов работы полупроводникового коммутатора, но и от конструктивных мероприятий, применяемых в

трансформаторе на этапе проектирования магнитопровода, трехфазной и круговой обмоток. Рассмотрены две различные конструктивные реализации трансформатора с вращающимся магнитным полем. Рассчитана кривая магнитного поля, характерная для трансформаторов с различными магнитопроводами, которая служит исчерпывающей характеристикой при анализе качества электроэнергии автономного инвертора на этапе его проектирования. Исследована связь качества выходного напряжения автономного инвертора с кривой магнитного поля и с вариантами конструкции обмоток. Предложен переход к разъемному магнитопроводу и скос магнитных осей трехфазной и круговой обмоток в целях повышения качества электроэнергии автономного инвертора. Показано, что применение трансформатора с разъемным магнитопроводом и скосом магнитных осей обмоток позволяет уменьшить коэффициент гармоник фазных напряжений в 7–10 раз и таким образом обеспечить лучшую электромагнитную совместимость автономного инвертора с питающей сетью и нагрузкой.

Ключевые слова: автономный инвертор, трансформатор с вращающимся магнитным полем, коэффициент гармоник выходного напряжения, метод конечных элементов, кривая магнитного поля, распределенная обмотка.

Autonomous inverters based on transformer with the rotating magnetic field are considered in the present article. These semiconductor converters are described to have superior quality of the supply and output current and voltage because of using transformer, which has complete geometric, electric and magnetic symmetry. It is established, that autonomous inverter's output voltage quality depends not only on the working algorithms of the semiconductor commutator, but also on constructive features which are being applied in the transformer itself during the process of its design and in the three phase and circular windings. Two different constructive realizations of the transformer with the rotating magnetic field are described. The magnetic field curve, which corresponds to transformers with different types of magnetic core and presents essential characteristic for the autonomous inverter's quality of electric energy to be analyzed during the process of inverter's design, is computed with the help of special software product. Connection of the autonomous inverter's output voltage quality with the magnetic field curve and with variants of its winding construction is also considered.

Application of separable magnetic core and three phase and circular windings with tilt between one another's magnetic axes is proposed in the course of improving the autonomous inverter's output voltage quality. It is shown, that application of the transformer with separable magnetic core and with tilt between windings' magnetic axes allows to reduce total harmonic distortion of the phase voltages curves' in 7–10 times and therefore to provide superior electromagnetic compatibility between autonomous inverter, power network and electric load.

Key words: autonomous inverter, transformer with rotating magnetic field, total harmonic distortion of the output voltage, finite element method, magnetic field curve, distributed winding.

электросетей, отстроенная от апериодических бросков тока намагничивания

ЗИНЧЕНКО А.В., ЧЕРНОУСОВА Л.В.

В настоящее время вероятность тяжёлого повреждения силового распределительного трансформатора из-за КЗ внутри его бака остаётся очень высокой. Поэтому очень важно выявлять любые повреждения обмоток внутри бака трансформатора с наибольшей скоростью и достаточной чувствительностью. Чтобы реализовать защиту, отвечающую всем этим требованиям, необходимо решить проблему броска тока намагничивания. В цифровых устройствах эта проблема решается в основном при помощи использования второй гармоники и высокого тока срабатывания отсечки. Всё это может негативно влиять на возможности защиты. В то же время в распределительной сети с низкими уровнями тока КЗ (к которым можно отнести сельские сети) существует возможность создания очень эффективной и несложной защиты с подходящим значением тока срабатывания. В статье рассмотрена возможность создания простой и эффективной (а также надёжной) дифференциальной отсечки. Разработанная дифференциальная отсечка обладает повышенной чувствительностью к двухфазным и трёхфазным КЗ. Приводится схема отсечки вместе с числовым примером, доказывающим её эффективность. Приведены осциллограммы двух режимов. Первая осциллограмма – это режим броска тока намагничивания, а вторая – режим КЗ. В режиме броска разработанное устройство блокируется, а при КЗ срабатывает, отключая повреждённый трансформатор от сети.

Ключевые слова: дифференциальная отсечка, защита трансформатора, бросок тока намагничивания.

At the present moment the possibility of a heavy damage of a distribution transformer, because of short circuit current in its tank, is still very high. So it is very important to determine any coil damages inside the tank of a transformer with the most high speed and sufficient sensitivity. To realize the protection that meets all this requirements, the problem of inrush current must be solved. At digital protection devices this problem is solved mostly by using second harmonica and high level of cutoff operation current. All this may influence badly on the protection. At the same time, in distribution electrical net with low short circuit currents, there is an opportunity to sustain very efficient, and not complicated, protection with appropriate level of current tripping. The possibility of creating simple and effective (and reliable) differential cutoff is considered. The elaborated differential cutoff is more sensitive to the short circuits of three or two phases. The scheme of the differential cutoff is shown with a sample, improving its efficiency. There also the oscillograms of two regimes of elaborated cutoff are shown. First oscillogram is the regime of inrush current, and the second one is the regime of short circuit current. At the regime of inrush current the elaborated device is blocked, and at the short circuit regime, it works, disconnecting the damaged transformer from the net.

Key words: differential cutoff; distribution transformers protection; magnetizing inrush current.

Электротехника, №8, 2015

Проектирование выходного каскада импульсного источника

ПАВЛЕНКО А.В., ВАСЮКОВ И.В., ПУЗИН В.С., ГРИНЧЕНКОВ В.П., БОЛЬШЕНКО А.В.

Рассмотрены вопросы проектирования выходного каскада импульсного источника питания на основе моста с жестким переключением. Предложены расчетные формулы для амплитудных значений тока дросселя и импульсов напряжения на входе фильтра в режиме разрывных и неразрывных токов, учитывающие влияние индуктивности рассеяния трансформатора и падение напряжения на диодах выпрямителя. Определены два подрежима в режиме неразрывных токов дросселя – с паузой в токе вторичной обмотки и без паузы. Особенностью второго подрежима является независимость выходного напряжения источника питания от коэффициента заполнения ШИМ. При выводе расчетных зависимостей не учитывалась индуктивность намагничивания трансформатора, индуктивность рассеяния была приведена ко вторичной обмотке, активные сопротивления элементов схемы замещения были приняты равными нулю. На основе предложенных формул был модифицирован алгоритм расчета выходного фильтра источника питания мостовой топологии. Проведены экспериментальные исследования макетного образца источника питания, подтвердившие адекватность предложенного алгоритма проектирования. Погрешности расчета амплитудных значений токов и напряжений существенно снижены по сравнению с традиционной методикой. В результате проведенных исследований установлено, что источник питания, проектируемый без учета индуктивности рассеяния импульсного трансформатора не сможет обеспечить требуемые параметры.

Ключевые слова: полный мост с жестким переключением, индуктивность рассеяния, импульсный источник питания, выходной фильтр.

Deals with the design of the output stage switching power supply based on the hard switching full bridge. A calculation formula for the amplitude values of the current throttle and voltage pulses inlet filter in discontinuous and continuous current mode, taking into account the effect of the leakage inductance of the transformer and the voltage drop across the diode rectifier were proposed. Defined two submodes continuous current mode – with a pause in the secondary current and without pause. A feature of the second submode is independent of the output voltage of the power supply from the PWM duty cycle. When displaying the calculated dependencies are not taken into account the magnetizing inductance of the transformer leakage inductance has been brought to the secondary, the active resistance of the equivalent circuit elements are assumed to be zero. On the basis of the proposed formula was modified algorithm for calculating the output filter full bridge topology. Experimental studies of the model sample supply, confirming the adequacy of the proposed algorithm design. Error calculating amplitude values of current and voltage is significantly reduced as compared with a conventional method. The studies found that the power supply, without taking into account the projected leakage inductance of the pulse transformer cannot provide the required parameters.

Key words: hard switching full bridge converter, leakage inductance, switch mode power supply, output filter

Инвариантная система управления электроприводом аппарата воздушного охлаждения газа

МОЧАЛИН Д.С., ТИТОВ В.Г.

Вопросы энергоэффективности и энергосбережения являются для ОАО «Газпром» приоритетным направлением деятельности и представляют собой комплекс программных мер, направленных на рациональное использование и экономию топливноэнергетических ресурсов, важной частью которых является прогнозирование и планирование электропотребления на компрессорных станциях (КС). Основными потребителями электроэнергии на КС с газотурбинными газоперекачивающими агрегатами являются электродвигатели с короткозамкнутым ротором аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа. В статье выполнен анализ исходных данных на участке «Петровск-Писаревка» газопровода «Уренгой-Новопсков» (установленная мощность АВО на каждой КС, пропускная способность КС в зависимости от режима работы АВО, потребление электроэнергии в течение года по месяцам, температура на входе и выходе КС). Выполнена оценка зависимости между переменными – расходом электроэнергии, пропускной способностью магистрального газопровода, температурой газа на выходе из КС. Для решения поставленных задач был использован метод нейронных сетей, который обладает рядом преимуществ перед регрессионными моделями: такие сети сами подбирают вид функциональной зависимости по экспериментальным данным и являются адаптивной моделью, которая подстраивает структуру сети под новые наблюдения и позволяет объяснить довольно сложные связи между расходом электроэнергии и показателями магистрального газопровода.

Ключевые слова: магистральный газопровод, компрессорная станция, аппарат воздушного охлаждения газа, прогнозирование, математическая статистика, нейронные сети.

Since 2000 in JSC «Gazprom» questions of energy efficiency and energy saving are priority activity, and represents a complex of the program measures directed on rational use and economy of an expense of fuel and energy resources. Forecasting and power consumption planning at compressor station (CS) is an integral part of economy of consumption of fuel and energy resources. The main consumers of the electric power at compressor station with gasturbine gasdistributing units are electric motors with a shortcircuited rotor of the air cooled heat exchanger (ACHE) of gas. The main emphasis in article is placed on consideration of consumption of electric energy of ACHE of gas. The analysis of basic data on «Urengoy-Novopskov» gas pipeline «Petrovsk-Pisarevk's» site (rated capacity of ACHE of gas on each CS, CS capacity depending on a mode work of ACHE of gas, electricity consumption within a year on months, temperature on an entrance and at CS exit) is carried out. The dependence assessment between variables – an electric power expense, throughput abilities of the main gas pipeline, gas temperature at the exit is executed from CS; with use of mathematical statistics in the Matlab 7 software product. Search of the best regression model represents quite bulky process. Use of neural networks which possess a number of advantages before regression models: select a type of functional dependence for experimental data and are adaptive model which arranges

network structure under new supervision and allows to explain quite difficult communications between values of an expense of the electric power and indicators of the main gas pipeline.

Key words: gas pipeline, compressor station, air cooled heat exchanger (ACHE) of gas, forecasting, mathematical statistics, neural networks

Электротехника, №8, 2015

Моделирование электромагнитных процессов в трехфазных дуговых электропечах

БИКЕЕВ Р.А., ЧЕРЕДНИЧЕНКО В.С.

Разработаны физическая и математическая части модели электромагнитных процессов в дуговых сталеплавильных печах. Модель позволяет учесть выделение энергии за счет протекания токов в рабочем пространстве печей, в том числе токов проводимости и индуцированных токов в шихте при взаимодействии электромагнитных полей в трехфазной системе с шихтой и расплавленным металлом. В результате решения задачи по определению параметров электромагнитного поля в рабочем пространстве печи подтверждено, что наибольшая интенсивность поля располагается внутри зоны, ограниченной диаметром распада электродов. Приблизительно можно считать, что напряженность магнитного поля уменьшается по радиусу печи обратно пропорционально квадрату радиуса. На поверхности водоохлаждаемых стеновых панелей напряженность магнитного поля уменьшается более, чем в 20 раз и, следовательно, в рассматриваемой системе печи электромагнитные потери в этих панелях оказываются пренебрежительно малыми. В результате решения электромагнитной задачи диагностики протекания токов проводимости было получено векторное распределение плотности тока в электродах и шихте в различные периоды плавки - период начального проплавления колодцев, период формирования колодцев до начала распада колодцев и период горения дуговых разрядов на расплав шлака и металла. Результаты моделирования позволили установить причины неустойчивого горения дуговых разрядов в начальные периоды плавки, а также изменения звуковых характеристик печей и кажущихся изменений градиентов потенциала в дугах при проплавлении колодцев в шихте.

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь, моделирование, электромагнитные процессы, токи проводимости в шихте, напряженность магнитного поля в рабочем пространстве печи, векторное поле токов, распределение электродинамических сил, мениск, образуемый дуговым разрядом в расплаве

There is presented a formulation of physical and mathematical parts of model of electromagnetic processes in electric arc steels melting furnaces. The model makes it possible to take into account energy releasing due to current flowing in furnace workspace, including conduction currents and induced currents in charging from interaction of electromagnetic fields in three phase system with charging and melt. As a result of solving of definition of electromagnetic field parameters problem is corroborating that maximum field intensity located inside area, limited by electrodes circle diameter. Also it can be assumed, in the rough, that magnetic field strength is decreasing inversely to squared radius. On surface of a water

cooled wall panels the magnetic field strength decreased in more than 20 times, and consequently for considered furnace system electromagnetic losses in these panels appear negligibly small. Solution of electromagnetic problem of examination conduction currents flows gives a vector distribution of current density in electrodes and charging for different periods of melting – period of initial trunks melting, period of trunks formation before trunks' decay, and period of burning of arc discharges on melt of slag and metal. Simulation results allow defining the causes of instable burning of arc discharges during initial melting periods, as well as the variations of sound furnace characteristics and the apparent changings of potential gradients in arc while melting trunks in charging.

Key words: electric arc steels melting furnace, simulation of electric arc furnaces, electromagnetic processes, conduction currents of charging, magnetic field strength in furnace work space, vector field of currents, distribution of electrodynamic forces, meniscus formed by arc discharge einmelt.

Электротехника, №8, 2015

Исследование температурной зависимости электроизоляционных свойств пленок из ПВХ, подвергнутого моделирующему тепловое старение термолизу в растворе

КРЫШТОБ В.И., ВЛАСОВ Д.В., МИРОНОВ В.Ф., АПРЕСЯН Л.А., ВЛАСОВА Т.В., РАСМАГИН С.И., КУРАТАШВИЛИ З.А, СОЛОВСКИЙ А.А.

Выполнены эксперименты по измерениям электропроводящих свойств на серии «тонких» (10-12 мкм) и «толстых» (170-250 мкм) образцов пленок из непластифицированного и пластифицированного ПВХ, предварительно подвергнутого операции термолиза (частичного дегидрохлорирования в растворе), имитирующего тепловое старение полимерной изоляции из ПВХ в электрических кабелях и покрытиях. Из-за образования в цепях макромолекул ПВХ «вшитых» цепочек полиеновых сопряженных связей (ПСС) подвергнутые обработке образцы представляли собой сополимеры винилена и винилхлорида. Во всех случаях температурная зависимость электропроводности исследовалась в пределах, близких к эксплуатационным - от 15 до 85 °С с использованием стандартной (ГОСТ) методики измерения. При этом по мере увеличения температуры у «тонких» образцов наблюдались скачкообразные изменения проводимости более чем на десять порядков величины с переходом из состояния низкой проводимости (СНП) в состояние высокой проводимости (СВП). Такой переход носил ярко выраженный двухступенчатый характер, т.е. между крайними состояниями СНП (сопротивление образцов $R_v \gg 10^{12}$ Ом) и СВП ($R_v = 05$, Ом) отчетливо фиксировалось промежуточное квазистойчивое полупроводниковое состояние (СПП, $R_v = 10^4$, 10^5 Ом). Для серии «толстых» образцов ПВХ пленок наблюдался иной вид кривой температурной зависимости, которая носила уже совершенно другой, плавный характер. Отмечено, что наибольшее влияние на ухудшение электроизоляционных свойств образцов ПВХ пленок (моделирующих традиционные типы кабельных пластикатов из ПВХ) оказывает не столько уменьшение (улетучивание) в них концентрации традиционных пластификаторов (типа ДОФ), сколько появление в них ПСС, образующихся в результате их теплового старения и приводящих в итоге к общему ухудшению их электроизоляционных свойств на

1,5-2,0 порядка от исходного значения.

Ключевые слова: электроизоляционные ПВХ-покрытия, тепловое старение, температурная зависимость электроизоляционных свойств.

Experiments were carried out by measuring the conductive properties in a series of «thin» (10-14 microns) and «thick» (170-250 microns) film samples of unplasticized and plasticized PVC, previously subjected to thermolysis (partial dehydrochlorination in solution), simulating the thermal aging of polymer PVC insulation in electrical cables and coatings. In this case PVC macromolecules contain polyene chains of conjugated double bonds (CDB), so that the samples subjected to treatment are copolymers of vinyl and vinyl chloride. In all cases the temperature dependence of electrical conductivity was studied in the range close to the performance (from 15 to 85 °C) using a standard (GOST) measurement technique. At the same time as the temperature increases for the «thin» samples abrupt changes in the conductivity by more than ten orders of magnitude were observed with the transition from low conductivity state (LCS) into a state of high conductivity (HCS). This transition wore a pronounced two stage process, ie, between the extreme states of LCS (resistance of the samples $R_v \gg 10^{12}$ Ohm) and HCS ($R_v = 0,5$, Ohm) clearly recorded quasistability intermediate semiconducting state (SCS, $R_v = 10^4$, 10^5 ohms). For a series of «thick» samples of PVC films the temperature dependence has the shape with completely different, smooth character. It is noted that the greatest influence on the deterioration of electrical properties of the PVC film samples (simulating traditional types of flexible PVC cable insulation) exerts not only the decrease (volatilization) in concentration of traditional plasticizers (such as DOP) but the appearance of CDB from their thermal aging, which eventually lead to total deterioration of their electrical insulating properties on 1,5-2 orders.

Key words: electrical insulating PVC coating, thermal aging, temperature dependence of the dielectric properties.

Электротехника, №8, 2015

Минимизация потребляемой мощности клапанным электромагнитом постоянного напряжения в повторно-кратковременном режиме работы

ЗАЙЦЕВ Ю.М., ИВАНОВ И.П., ПЕТРОВ О.А., ПРИКАЗЩИКОВ А.В., РУССОВА Н.В., СВИНЦОВ Г.П.

Предложена методика проектирования клапанного электромагнита постоянного напряжения, минимизированного по потребляемой мощности, которая основана на экспериментально полученных нагрузочных характеристиках и математических моделях тепловых параметров обмотки, зависящей от максимальной температуры в ее толще. Определен критерий оптимальности по потребляемой мощности и разработан алгоритм поиска наилучшего его решения методом двухразового сканирования факторного пространства. На примерах расчета показано определение основных размеров оптимизированного электромагнита при различных значениях исходных параметров: рабочего зазора, противодействующего усилия, отношения максимального напряжения источника питания к напряжению срабатывания и коэффициента перегрузки по

мощности. С целью сокращения затрат времени при проектных расчетах даны простые математические выражения для определения основных размеров электромагнита, полученные обобщением результатов вычислительных экспериментов методами планирования активного эксперимента и теории подобия. Изложен порядок их вычислений. Предложенная методика успешно использована при проектировании новой серии контакторов постоянного тока, предназначенных для жестких условий эксплуатации.

Ключевые слова: потребляемая мощность, электромагнит, повторно-кратковременный режим, теория подобия, минимизация.

The technique of designing the clapper type electromagnet dc voltage to minimize power consumption of which is based on the experimental load characteristics and mathematical models of thermal parameters of the winding, depending on the maximum temperature in her column is offered. The criterion of an optimality on power consumption is determined and the algorithm of search of its best solution is developed by a method of two-single scanning of factorial space. On calculation examples definition of the main sizes of the optimized electromagnet is shown at various values of initial parameters: working air gap, reactive force, the relation of the maximum power supply voltage to the voltage of operation and the overload factor of power. In order to reduce time spent in the design calculations simple mathematical expressions for definition of the main sizes of the electromagnet received by generalization of results of computing experiments by methods of planning of active experiment and the similarity theory are given. The order of their calculations is stated. The offered technique is successfully used at designing of a new series of contactors of the direct current intended for rigid operation conditions.

Key words: power consumption, electromagnet, intermittent operational mode, the similarity theory, minimization.

Электротехника, №8, 2015

Автономные электроэнергетические системы с синхронными генераторами и водородными источниками энергии

БАЙКО А.В., НИКИТИН В.В., СЕРЕДА Е.Г.

Приведен краткий обзор современных достижений в применении водородных источников электроэнергии в составе энергосистем автономных транспортных объектов - судов и локомотивов. Рассмотрены варианты структурных схем автономных электроэнергетических систем с дизель-генераторами/турбогенераторами и водородными источниками электроэнергии, в которых водородные источники работают параллельно с синхронными генераторами на общую нагрузку через инверторы тока и напряжения. На основе рассмотрения схем замещения по основным гармоникам применительно к стационарным режимам дан анализ энергетических показателей и особенности процессов управления в системах при параллельной работе синхронного генератора и водородного источника электроэнергии через инвертор тока или напряжения на статическую нагрузку активно-индуктивного характера. Приведен

сравнительный анализ достоинств и недостатков рассмотренных структурных вариантов автономных энергосистем.

Ключевые слова: автономная электроэнергетическая система, водородный источник энергии, синхронный генератор, полупроводниковый инвертор.

The article gives a brief overview of current developments in the application of hydrogen sources as part of the autonomous power systems of transport facilities – ships and locomotives. The variants of the block diagrams of autonomous electric power systems with diesel generators or turbine generators and hydrogen energy sources in which hydrogen source works in parallel with synchronous generator for the total load from the inverter of current and inverter of voltage are considered. The energy performance indicators and features of management processes are analyzed based on the consideration of equivalent circuits with fundamental harmonics on stationary processes when the synchronous generator works in parallel with hydrogen energy source supported by mean of current or voltage inverter for active inductive energy consumer. The comparative analysis of the advantages and disadvantages of the considered structural variants of autonomous power systems is provided.

Key words: autonomous electric power systems, hydrogen energy sources, synchronous generator, inverter

Электротехника, №8, 2015

Алгоритмы управления и обеспечение устойчивости системы резервного питания частотно-регулируемого электропривода от сети постоянного тока

ВДОВИН В.В., ВИСЛОГУЗОВ Д.П., КЛАН В.А., КОТИН Д.А., ПАНКРАТОВ В.В., СМЕТАННИКОВ А.В.

Рассмотрены системы резервного питания частотно-регулируемого электропривода циркуляционного насоса автономного объекта от сети постоянного тока, построенной на основе аккумуляторной батареи или электромеханического генератора. Приведены схема и основные характеристики двунаправленного гальванически изолированного преобразователя постоянного тока, структура его системы регулирования. Выполнен анализ устойчивости работы системы резервного питания в режиме постоянства мощности потребления, предложен алгоритм коррекции запасов устойчивости с учетом параметров резервной сети. Приведены результаты экспериментов.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, резервное питание, преобразователь постоянного тока, система регулирования, устойчивость.

Discussed the problems of the development of backup power system from dc mains for frequencycontrolled circulating pump electric drive of selfcontained object. The system is built on the basis of storage battery or electromechanical generator. Considered circuit, main properties, control system structure of the bidirectional galvanically isolated DCDC converter. Analyzes the operation stability of backup power system in the conditions of requisite power consistency. Proposed the stability margin correction algorithm with a glance of backup mains parameters. The experimental results are shown.

Key words: frequency controlled electric drive, backup power system, DCDCconverter, control system, stability.

Электротехника, №8, 2015

Определение эффективности компенсации емкостных токов однофазного замыкания на землю дугогасящими реакторами различных конструкций на экспериментальном стенде

МАТВЕЕВ Д.А., ХРЕНОВ С.И., ЖУЙКОВ А.В., НИКУЛОВ И.И.

В статье представлены результаты экспериментального сопоставления компенсации емкостных токов однофазных замыканий на землю дугогасящими реакторами двух принципиально различных конструкций – плунжерными и управляемыми подмагничиванием. Ранее авторами с помощью простой аналитической формулы и расчетной модели сети было показано, что быстродействие реакторов, определяемое через время, необходимое для компенсации составляющей тока замыкания промышленной частоты, зависит от фазового угла напряжения в момент замыкания [1]. Если замыкание происходит не в максимум напряжения, то в токе реактора появляется апериодическая составляющая, не позволяющая мгновенно компенсировать емкостный ток замыкания. В статье приведено описание экспериментального стенда 6 кВ, на котором проводились измерения. По результатам измерений реакторы обеих конструкций демонстрируют схожее быстродействие, характеризующееся в среднем временем порядка сотен миллисекунд, что значительно превышает распространенные представления об их быстродействии. Показано, что быстродействие реакторов не может являться критерием их эффективной работы. Поэтому для случая компенсации емкостного тока перемежающегося дугового замыкания предложен сопоставительный критерий оценки эффективности работы реактора, основанный на среднем значении энергии, рассеиваемой в месте замыкания.

Ключевые слова: однофазные замыкания на землю, компенсация емкостных токов, дугогасящие реакторы, экспериментальный стенд

The paper presents the experimental results of performance evaluation of arc suppression reactors of two different designs: traditional (plungertype) and controlled by magnetic biasing. Previously [1] it was shown with the help of simple formula and numerical network simulation that the reactor response time required to compensate the 50 Hz component of capacitive fault current depends on the sinusoidal voltage phase angle at the moment of ground fault. If an instantaneous voltage value at this moment is not a peak value, the aperiodic component occurs in the reactor current which prevents the immediate complete compensation. The 6 kV experimental setup is presented in details. It is shown by experiments that reactors of both types show similar behavior with average response time of hundreds of milliseconds, which significantly exceeds the common interpretations of their response speed. The conclusion made is that the reactor response time should not be used as a criterion of its overall performance. An average value of energy dissipated in the intermittent arcing fault is proposed as a criterion for the reactor's effectiveness.

Key words: one phase earth faults, compensation of earth faults, arc suspension reactors, experimental setup.

Электротехника, №8, 2015

Расчет нестационарного температурного поля в переходном слое скользящего контакта

ПЛОХОВ И.В., ИЛЬИН А.В., НИКИФОРОВ И.П., КОЗЫРЕВА О.И.

В статье описана вычислительная модель тепловых процессов в скользящем микроконтакте при протекании электрического тока. Приведена реализация модели в среде COMSOL. Построены регрессионные выражения для описания переходных процессов в микроконтакте с использованием теории планирования эксперимента.

Приведены результаты моделирования и определена точность аппроксимации.

Ключевые слова: электрический скользящий контакт, имитационная вычислительная модель, теория планирования эксперимента.

The paper describes computation model of heat processes in electrical sliding microcontact. COMSOL 3Dmodel is developed. Methodology for regression expressions of the unsteadystate processes is suggested. The results of simulation are shown.

Key word: electrical liding contact, simulation computational model, design of experiments theory.