

Электротехника, №8-2017, стр.2

К юбилею Электроэнергетического факультета Ставропольского государственного аграрного университета
МАСТЕПАНЕНКО М.А.

Электротехника, №8-2017, стр.3-8

Формализация процесса направленной композиции структур систем автономного электроснабжения при проектировании

АТАНОВ И.В., ХОРОЛЬСКИЙ В.Я., ЕРШОВ А.Б., ЕФАНОВ А.В.

Рассмотрен морфологический метод синтеза структур систем автономного электроснабжения, являющийся дальнейшим развитием последовательных алгоритмов. Процедура формирования вариантов структур представлена в виде блока исходной информации, а также ряда последовательно выполняемых операций по формированию кортежа электротехнических агрегатов с проверкой наложенных ограничений. Метод основан на моделировании основных правил проектирования, которыми руководствуется разработчик проектной документации. Раскрыто теоретическое содержание метода в виде исходной информации (аксиом); правил переработки информации; логических формул, получаемых в результате применения логических операций к исходным положениям. В качестве математической базы рекомендовано использование исчисления предикатов, позволяющих представить основные теоретические положения синтеза, как дедуктивную аксиоматическую теорию со стандартной формализацией. Показаны основные преимущества предлагаемого метода, обусловленные сокращением времени нахождения функционально-необходимых структур за счет исключения полного перебора вариантов и использования вычислительной техники.

Ключевые слова: систем автономного электроснабжения, проектирование, формализация процедуры.

The article is devoted to morphological method of autonomous power supply system structure synthesis, which is a further development of sequential algorithms. The procedure of structure variant formation is presented as a block of source information as well as a number of sequentially executed operations on formation of electrical component tuple with a test of restrictions. The method is based on modeling the basic design rules that guide an experienced developer of project documentation. Theoretical

content of the method is disclosed in the form of source information (axioms); information processing rules; the logical formulas resulting from applying logical operations to the initial data. The use of the predicate calculus allowing to present the basic theoretical principles of synthesis as a deductive axiomatic theory with a standard formalization is recommended as a mathematical framework. The main advantages of the proposed method due to the reduction in time of functionally necessary structure occurrence by eliminating exhaustive search and computer technology have been shown.

Key words: systems of autonomous power supply, design, formalization of procedures.

Электротехника, №8-2017, стр.8-13

О зависимости между амплитудными и временными параметрами импульсных напряжений в системах электроснабжения общего назначения
ЕРШОВ А.Б., ХОРОЛЬСКИЙ В.Я., ЕФАНОВ А.В., ШЕМЯКИН В.Н.

Рассмотрены существующие нормативные требования к оценке импульсов напряжения в системах электроснабжения общего назначения, как одного из параметров качества электроэнергии. Акцентируется внимание на том, что ГОСТ 32144-2013 рекомендует при заключении договоров на поставку или передачу электрической энергии учитывать статистические данные, относящиеся к таким характеристикам. Представлены результаты обработки статистического материала, полученного с использованием специализированного прибора регистрации параметров импульсных напряжений. Установлена устойчивая корреляционно-регрессионная зависимость между данными параметрами, показано, что эта зависимость носит экспоненциальный характер. Предложен метод формирования испытательного импульса напряжения для проверки фактической устойчивости электроприёмников к импульсным напряжениям, возникающим в цепях электропитания.

Ключевые слова: системы электроснабжения общего назначения, импульсные напряжения, амплитуда и длительность импульсов, корреляционно-регрессионная зависимость, экспоненциальный характер, испытательный импульс напряжения.

The article considers the currently existing regulatory requirements for the assessment of voltage impulses in general purpose power supply systems as one of the parameters of electricity quality. Special attention is paid to the fact that GOST 32144-2013

recommends to consider the statistics related to these characteristics when making contracts for the supply or transmission of electric energy. The article presents the results of processing statistical data obtained with the use of a specialized device for registration of parameters of impulse voltages. A stable correlation and regression dependence between these parameters has been established. The exponential nature of this dependence has been analytically proved. A new method of forming a test impulse voltage has been proposed to test the actual resistance of consumers to impulse voltages arising in the power supply circuits.

Key words: power supply systems of general purpose, pulse voltage amplitude and pulse duration, correlation and regression relationship, exponential nature, the test pulse voltage.

Электротехника, №8-2017, стр.14-18

Выбор параметров компенсатора реактивной мощности при нелинейных нагрузках

ВОРОТНИКОВ И.Н., БУДОВСКИЙ В.П., МАСТЕПАНЕНКО М.А., ГАБРИЕЛЯН Ш.Ж.

Рассмотрена возможность совершенствования выбора параметров компенсатора реактивной мощности, работающего при несинусоидальных режимах, основанного на разложении мгновенной мощности на составляющие в режимах фазового сдвига тока относительно питающего напряжения и искажения формы кривой тока во времени, путем использования дополнительной оценки расчетной мощности компенсатора. К настоящему времени были предприняты многочисленные попытки обобщить понятие реактивной мощности на несинусоидальные процессы или ввести другие общие понятия, однако к созданию общепринятой теории, адекватно отражающей энергетические процессы в общем случае, при наличии искажений и в токе, и в напряжении, эти усилия не привели. Цель статьи – повышение эффективности установок компенсации реактивной мощности сельскохозяйственных и промышленных потребителей, работающих при несинусоидальных режимах. Для этого используются дополнительные вычислительные процедуры в алгоритме управления компенсатором реактивной мощности, которые учитывают сопротивление передающей линии и внутреннее сопротивление источника питания.

Ключевые слова: компенсатор реактивной мощности, мгновенная мощность, коэффициент мощности.

A possibility of the improvement a parameters choice of the compensation tool of reactive power at nonsinusoidal mode, founded on decomposition of the instant power on forming in mode of the phase shift of the current comparatively supplying voltages and distortion the form of the current curve at real time is considered. This can be reached by use additional estimation to accounting power of the compensation tool. Currently, the multiple attempts to generalise the notion to reactive power on nonsinusoidal modes or enter other general notions, changing it, were undertaken. However, to creation generally accepted theory, adequately reflecting power processes in general event, at presence of the distortion and in current, and in voltage, these efforts have not brought. The purpose persisting work is increasing to efficiency of the compensation tool of reactive power for agricultural and industrial consumers, working at nonsinusoidal mode. This purpose is reached by use additional calculation procedures in algorithm of compensator management to reactive power, which take into account the resistance sending lines and inside resistance of the power source.

Key words: compensator reactive power, instant power, power factor.

Электротехника, №8-2017, стр.19-22

Количественное определение и сравнительная оценка надежности энергетических массивов

ХОРОЛЬСКИЙ В.Я., ЕРШОВ А.Б., ЕФАНОВ А.В.

Широкое применение энергетических массивов в качестве основного элемента систем бесперебойного электроснабжения обусловлено априорными суждениями об их более высокой надежности по сравнению с традиционными схемами построения источников бесперебойного питания. Вместе с тем количественные значения показателей надежности данных устройств в технической литературе отсутствуют. Оценка надежности энергетических массивов классическими методами вследствие нетрадиционной схемы резервирования (резервирование с ограничением по нагрузке, горячий резерв) достаточно сложно. Анализ интенсивности отказов и интенсивности восстановления (замены) силовых блоков энергетического массива в качестве постоянных величин предопределяет справедливость экспоненциального закона и делает возможным использование для расчета надежности аппарата цепей Маркова. В статье представлен граф состояний источника бесперебойного электроснабжения, получен необходимый

математический аппарат для расчета показателей надежности и дана их количественная оценка. Результаты расчетов свидетельствуют о вариации в больших пределах значений наработки на отказ, при этом коэффициент готовности, как наиболее важный показатель надежности восстанавливаемой системы, остается очень высоким.

Ключевые слова: система бесперебойного электроснабжения, энергетический массив, интенсивность отказов, интенсивность восстановления, наработка на отказ, коэффициент готовности.

Wide application energy arrays as the basic element of systems of uninterrupted power supply due to a priori judgments about their higher reliability compared with traditional schemes uninterruptible power supply. However, the quantitative values of indicators of reliability of these devices in accessible technical literature. Evaluation of the reliability and energy arrays by classical methods due to the non-traditional schemes of reservation (reservation-limited load, hot stand-by) is quite difficult. However, consideration of the values of the failure rate and intensity of restoration (replacement) of power units of the energy array in constant determines the fairness of the exponential law and makes it possible to use to calculate the reliability of the apparatus of Markov chains. The article presents the state graph of the uninterruptible power supply received the necessary mathematical apparatus for calculation of indicators of reliability and gives their quantitative assessment. The results of the calculations indicate variations within wide limits of values of the cycle-to-failure the availability factor as the most important indicator of reliability of restored systems remains very high.

Key words: system of uninterrupted power supply, the power array, failure rate, repair rate, cycle-to-failure, availability factor.

Электротехника, №8-2017, стр.23-27

Оптимизация параметров преобразователя тока блочной защиты электродвигателей

АНИКУЕВ С.В., АТАНОВ И.В., ВОРОТНИКОВ И.Н., ШАРИПОВ И.К.

Выполнена оценка параметров индукционного преобразователя ток-напряжение с магнитопроводом из ферромагнитного материала. Преобразователь используется в составе блочной многофункциональной защиты трехфазных асинхронных электродвигателей. Приведена эквивалентная схема пассивного индукционного

преобразователя тока. Определены основные соотношения, связывающие выходное напряжение преобразователя с измеряемым током. Выполнено моделирование параметров для расширения диапазонов измеряемых токов на фиксированной частоте и в широком диапазоне частот. Рассмотрены режимы работы преобразователя в режимах холостого хода, короткого замыкания, а также способы повышения чувствительности преобразователя. Математическая модель учитывает характеристики магнитопровода, возможность его насыщения, высшие гармонические составляющие выходного сигнала датчика.

Ключевые слова: преобразователь, трансформатор тока, релейная защита, магнитопровод, модель.

We estimated the parameters of current and voltage inductive transducer with a magnetic core made of a ferromagnetic material. The inductive transducer is used as a part of the block multifunctional protection of three-phase asynchronous electric motors. An equivalent circuit of a passive inductive current transducer is given. We determined the main relationships connecting the output voltage of the transducer with the measured current. Modeling of parameters was performed to expand the ranges of measured currents at a fixed frequency and in a wide frequency range. We examined the operating modes of the transducer at idle speed, with a short circuit. The mathematical model takes into account the characteristics of the magnetic circuit, the possibility of its saturation, the higher harmonic components of the sensor output signal.

Key words: transducer, current transformer, relay protection, magnetic core, model.

Электротехника, №8-2017, стр.27-32

Устройство выборки и хранения повышенного быстродействия

БОНДАРЬ С.Н., МАСТЕПАНЕНКО М.А., ГАБРИЕЛЯН Ш.Ж., ВОРОТНИКОВ И.Н.

Типовые устройства выборки и хранения (УВХ) характеризуются рядом недостатков: смещением нуля на выходе УВХ, вызванное, прежде всего, напряжением смещения нуля входящих в состав УВХ операционных усилителей; значительным временем выборки, обусловленным необходимостью использования конденсатора хранения с как можно большей емкостью в целях увеличения времени хранения; неопределенностью значения времени выборки, обусловленной режимом перезаряда конденсатора хранения, представляющего

собой коммутационный процесс с ненулевыми начальными условиями, имеющими случайный характер. Попытка стабилизации времени выборки при одновременной ее минимизации привела к разработке способа ускоренного перезаряда конденсатора хранения УВХ, базирующегося на выполнении операций: усиления входного сигнала; принудительного перезаряда конденсатора хранения; определения момента равенства амплитуд запоминаемого аналогового сигнала и выходного сигнала УВХ.

Ключевые слова: устройство аналого-цифрового преобразования, ускоренный перезаряд конденсатора хранения, интервал времени выборки.

Typical sample-and-hold devices (SHD) are characterized by a number of drawbacks: a zero offset at the output of the SHD caused primarily by the zero-offset voltage of the operational amplifiers included in the SHD; significant sampling time due to the need of using a storage capacitor with the largest possible capacity, in order to increase the storage time; the uncertainty of the sampling time is due to the recharge regime of the storage capacitor, what is a commutation process with nonzero initial conditions that have a random character. An attempt to stabilize the sampling time, while minimizing it, led to the development of a method for accelerated recharging of SHD storage capacitor based on performing operations: amplification of the input signal; forced recharge of the storage capacitor; determination the moment of equality of the amplitudes of the memorized analog signal and SHD output signal. A circuit solution has been developed for constructing a SHD providing more than 9 times the gain in speed (in sample time) with a significant increase in accuracy. The increase in accuracy is due to the independence of SHD output voltage from the zero offset voltage of the outputting op-amp.

Key words: an analog-to-digital conversion device, accelerated overcharge of the storage capacitor, sampling interval.

Электротехника, №8-2017, стр.33-38

Состояние и перспективы развития комплектных распределительных устройств на напряжение 6–35 кВ

ВАРИВодов В.Н., КОВАЛЕВ Д.И., КРУПЕНИН Н.В., ХРЕНОВ С.И., МИРЗАБЕКЯН Г.З.

Рассмотрены общие тенденции развития распределительных электрических сетей и требования, предъявляемые к комплектным распределительным устройствам (КРУ) на средние классы напряжения. Отмечены основные достоинства традиционных КРУ с воздушной изоляцией. Рассмотрены вопросы перехода к КРУ с твердой изоляцией и твердой экранированной изоляцией. Объем ячеек с воздушной изоляцией в 3–5 раз превышает объем современных ячеек КРУ с твердой изоляцией и газонаполненных ячеек. Определено, что основным направлением совершенствования КРУ с твердой изоляцией является применение технологии SISS (Solid Insulated Switchgear with earthed Shield – КРУ с твердой изоляцией и заземленным экраном). Экранированная твердая изоляция продлевает срок службы оборудования до возможного ремонта, уменьшая тем самым стоимость обслуживания. Описано принципиальное конструктивное выполнение ячеек с твердой изоляцией отдельных производителей. Приведены основные технические решения предлагаемых разработок, отмечены их преимущества и недостатки. Применение такой системы изоляции позволяет существенно снизить габариты КРУ и значительно повысить безопасность, поскольку в шкафу КРУ исключено прикосновение к высоковольтным элементам. При этом наличие подвижных элементов КРУ, находящихся под высоким потенциалом, требует применения другой изоляционной среды, позволяющей этим элементам двигаться – газа, жидкости или вакуума. Это означает, что изоляция подобных КРУ по существу является комбинированной. Кроме того, слой твердой изоляции ухудшает отвод тепла, а высокие напряженности электрического поля в твердом диэлектрике и большие объемы литого твердого диэлектрика требуют специальных мер по исключению частичных разрядов. Серьезной проблемой является и соединение различных элементов между собой, так как поверхность раздела элементов – это наиболее ослабленный изоляционный узел. Поэтому внедрение таких устройств связано с тщательной технической проработкой и выбором специальных технических решений, повышающих надежность работы изоляции и облегчающих тепловые режимы.

Ключевые слова: распределительное устройство, ячейка, твердая экранированная изоляция.

The article deals with general trends of electricity distribution networks development and requirements for switchgear for medium voltage classes. The main advantages of traditional air-insulated switchgear were noted. The article gives an information on

problems of transition to the switchgear with solid insulation and solid shielded insulation. The volume of air-insulated cells is 3–5 times bigger than the modern switchgear cells with solid insulation and gas-filled cells. It is determined that the main direction of improving the switchgear with solid insulation technology is the use of SISS (Solid Insulated Switchgear with earthed Shield). Shielded solid insulation extends the life of the equipment until the possible repair, thereby reducing maintenance costs. In the article was described conceptual construction implementation of cells with solid insulation of individual producers. The basic technical solutions and advantages of proposed developments were given; their advantages and disadvantages were marked. The use of this insulation system can significantly reduce the size of switchgear and significantly improve its safety, because touching of the high-voltage components is excluded in the switchgear cabinet. The presence of the switchgear movable elements under high potential requires usage of other insulating agent, allowing movement of these elements – gas, liquid or vacuum. This means that insulation of such switchgear is combined in fact. Furthermore, the solid insulation layer deteriorates heat dissipation, and high electric field intensity in the solid insulator and a high volume of cast solid insulator require special measures to eliminate partial discharges. A serious problem is the connection of different elements among themselves, as the interface of connected elements - this is the most weakened insulation part. Therefore, the introduction of such devices is linked to the thorough technical study and the choice of specific technical solutions that increase the reliability of the isolation and facilitate thermal conditions. The purpose of this article is to summarize the main ways of switchgear assembly cells improvement at voltage of 6–35 kV for power grid facilities.

Key words: switchgear, cell, shielded solid insulation.

Электротехника, №8-2017, стр.39-45

Концепция система управления и мониторинга комплектных распределительных устройств среднего напряжения с твердой изоляцией

ШУЛЬГА Р.Н., ШУЛЬГА А.Р., КОВАЛЕВ Д.И., ХРЕНОВ С.И., КОШЕЛЕВ М.А.

Представлена концепция системы управления и мониторинга комплектного распределительного устройства 35 кВ с твердой экранированной изоляцией. Устройство разрабатывается в виде двух ячеек. Одна ячейка с трехпозиционным элегазовым выключателем нагрузки–разъединителем–заземлителем с моторно-пружинным приводом образует коммутационный модуль и содержит шинный и

кабельный модули, шкаф ячейки и систему управления и мониторинга. Другая ячейка кроме этих элементов содержит еще предохранитель и быстродействующий заземлитель. Система управления и мониторинга разрабатывается в двух вариантах: для традиционных и цифровых подстанций. Приведены технические характеристики и структура системы, а также алгоритмы выполнения ее функций. Наибольшую значимость представляет мониторинг электромагнитных полей и частичных разрядов с использованием различных индикаторов и датчиков, контроль состояния изоляции и ее температуры, а также остаточного ресурса коммутационных аппаратов и приводов. В качестве протокола автоматизации для традиционных подстанций обычно используется Modbus, который позволяет реализовать задачи диспетчерского управления и интеграции данных в системы управления, но не позволяет в реальном масштабе времени передавать мгновенные значения токов и напряжений, дискретных сигналов РЗА и др. Согласно стандарту МЭК 61850 все коммутационные процессы передачи данных в реальном масштабе времени осуществляются посредством технологии Ethernet, которая описывается протоколом IEEE 802.3 и обеспечивает передачу цифровых данных в соответствии с жесткими требованиями РЗА. Описано конструктивное выполнение двух модификаций системы в виде нестандартных телекоммуникационных шкафов с системой температурно-влажностного контроля, размещаемой в верхней части шкафа распределительного устройства с расположением элементов управления, индикации и сигнализации.

Ключевые слова: комплектное распределительное устройство, твердая экранированная изоляция, система управления и мониторинга.

The concept of system control and monitoring of switchgear 35 kV with shielded solid insulation is developed. The specified switchgear is developed in the form of two cells. One cell with gas-insulated three-position load switch–disconnector–earthing switch with motor-spring actuator forms a switch module and includes busbar and cable modules, the rack cells, and the system management and monitoring. Another cell contains the same elements and further fuse and fast-acting earthing switch. System control and monitoring is developed in two versions for traditional and digital substations. The technical characteristics, structure are given, algorithms of performance of functions of the system are developed. The greatest importance is the monitoring of electromagnetic fields and partial

discharges with the use of various indicators and sensors, monitoring of insulation and its temperature as well as residual life of switching devices and drives. As automation protocol for traditional substations is normally used Modbus. The analysis of the protocol shows that it allows to realize the task of dispatching management, and integration into the management system, but does not allow real-time transmit instantaneous values of currents and voltages, digital relay protection and other signals. In accordance with IEC 61850 all switching processes data in real time scale are carried out via Ethernet technology, which is described by the IEEE 802.3 protocol and allows you to solve the problems of transmission of digital data in accordance with the stringent requirements of the RPA. Described constructive implementation of two modifications of the system in the form of a non-standard telecommunications equipment with a system of temperature and humidity control, placed at the top of the switchgear cabinet with the location of the controls, indication and alarms.

Key words: switchgear, shielded solid insulation, control system and monitoring.

Электротехника, №8-2017, стр.45-49

Инициирование искрового разряда между искусственной грозовой ячейкой и землей группами гидрометеоров

ТЕМНИКОВ А.Г., ЧЕРНЕНСКИЙ Л.Л., ОРЛОВ А.В., ЛЫСОВ Н.Ю., БЕЛОВА О.С., ГЕРАСТЕНОК Т.К., ЖУРАВКОВА Д.С., КАЛУГИНА И.Е.

Представлены результаты экспериментального моделирования влияния групп гидрометеоров на вероятность инициирования искровых канальных разрядов между искусственной грозовой ячейкой отрицательной или положительной полярности и землей. Установлено существенное влияние вида гидрометеоров и способа их объединения в группу на инициирование и стимулирование распространения искрового разряда из искусственной грозовой ячейки. Выявлено, что введение групп плоских ромбовидных гидрометеоров резко увеличивает вероятность инициирования канального разряда из отрицательно заряженной ячейки. Установлено, что для положительно заряженной ячейки аналогичное влияние оказывают объемные цилиндрические гидрометеоры. Найдено, что необходимым условием инициирования и стимулирования распространения канального разряда между облаком и землей является стимулирование ускоренного формирования искрового разряда между соседними гидрометеорами

группы. Показано, что для этих целей могут быть использованы диэлектрическая леска или лента. Предложена многофакторная физическая картина влияния гидрометеоров на инициирование и стимулирование искрового канального разряда между грозовой ячейкой и землей, поясняющая перспективные пути искусственного инициирования молнии массивами модельных гидрометеоров. *Ключевые слова:* молния, грозовое облако, искусственная грозовая ячейка, искровой канальный разряд, экспериментальные исследования, модельные гидрометеоры.

Results of the experimental simulation of the influence of the model hydrometeor groups on the probability of the spark channel discharge initiation between the artificial thunderstorm cell of a negative or positive polarity and the ground have presented in the paper. Significant influence of the hydrometeor kind and their combining into the group on the initiation and the stimulation of a propagation of the spark discharge from an artificial thunderstorm cell of the negative or positive polarity has been established. It was found that introduction of the groups of the plate rhombus hydrometeors sharply increases the probability of the channel discharge initiation from the negatively charged artificial thunderstorm cell. It was established that the volume cylinder hydrometeors show the analogues behavior for the positively charged cell. It was found that the simulation of the accelerated formation of the spark discharge between the neighbor model hydrometeors in the group could be the necessary condition for the initiation and propagation stimulation by the model hydrometeor group of the channel discharge between the cloud and the ground. It was shown that the dielectric string or tape could be used for such aims. Multi factor physical picture of the hydrometeor influence on the initiation and propagation stimulation of the spark channel discharge between the artificial thunderstorm cell and the ground has been proposed. It could make clear the perspective paths of the artificial initiation of lightning by the model hydrometeor arrays. *Key words:* lightning, thundercloud, artificial thunderstorm cell, spark channel discharge, experimental investigation, model hydrometeors.

Электротехника, №8-2017, стр.49-52

Стимулирование разряда искусственной грозовой ячейки массивами модельных гидрометеоров

ТЕМНИКОВ А.Г., ЧЕРНЕНСКИЙ Л.Л., ОРЛОВ А.В., ЛЫСОВ Н.Ю., БЕЛОВА О.С.,
ГЕРАСТЕНОК Т.К., ЖУРАВКОВА Д.С., ГУНДАРЕВА С.В.

Представлены результаты экспериментального исследования влияния массивов модельных гидрометеоров на стимулирование процесса разряда искусственной грозовой ячейки отрицательной или положительной полярности. Показано, что введение в грозовую ячейку модельных гидрометеоров различного вида, объединенных в массив различными способами, может приводить к повышению эффективности разряда заряженного облака в несколько раз. Установлено, что модельные гидрометеоры эллипсоидальной формы наиболее эффективны для нейтрализации заряда отрицательно заряженной искусственной грозовой ячейки. При положительной ячейке ее разряд наиболее эффективно обеспечивается модельными гидрометеорами цилиндрической формы. Показано, что введение массивов модельных гидрометеоров также влияет на длительность стадии главного разряда, в течение которой происходит разряд искусственной грозовой ячейки. Показано, что длительность главной стадии разряда, инициируемой массивами модельных гидрометеоров различного вида из отрицательно заряженной искусственной грозовой ячейки, в несколько раз больше, чем для положительно заряженной ячейки. Полученные данные открывают новые возможности для использования методов интенсификации разряда природного грозового облака.

Ключевые слова: молния, грозовое облако, массивы модельных гидрометеоров, искусственная грозовая ячейка, стимулирование разряда, эксперимент

Results of the experimental investigation of the influence of the model hydrometeor arrays on the stimulation of the processes of the discharging of the artificial thunderstorm cell of a negative or positive polarity have presented in the paper. It was found that introduction into the thunderstorm cell of the negative or positive polarity of the model hydrometeors of a different kind combined in the array of the different methods could lead to the increasing in two-three times of the effectiveness of the charged cloud discharging. It was established that the model hydrometeors of an ellipsoid form will be the most effective to the charge neutralization of the negatively charged artificial thunderstorm cell. For positive polarity of the artificial thunderstorm cell, its discharging has been effectively provided by the model hydrometeors of a cylinder form. It was found that introduction of the model hydrometeor arrays also influences on the duration of the main discharge stage when the discharging of the

artificial thunderstorm cell occurs. It was shown that duration of the main stage of discharge initiated by the arrays of the model hydrometeors of different kinds from the negatively charged artificial thunderstorm cell is in some time bigger that for the positively charged cell. The obtained data opens the new possibilities for their using in the methods of the intensification of the processes of the discharging of a natural thundercloud.

Key words: lightning, thundercloud, arrays of model hydrometeors, artificial thunderstorm cell, stimulation of discharge, experiment

Электротехника, №8-2017, стр.53-56

Особенности влияния импульсного питающего напряжения на структуру и характеристики поверхностного разряда

ВОЕВОДИН В.В., СОКОЛОВА М.В., МАЛАШИН М.В., РЕБРОВ И.Е.

Представлены результаты экспериментального исследования поверхностного барьерного разряда в трехэлектродной системе. Анализируются полученные данные об интенсивности потока заряженных частиц, вытягиваемых высоким постоянным потенциалом третьего электрода из плазмы поверхностного разряда, питаемого высоким импульсным униполярным периодическим напряжением частотой 15 кГц с импульсами длительностью от 0,5 до 45 мкс и наносекундной длительностью фронта (150 нс). Выявлено существенное влияние длительности импульса на интенсивность потока заряженных частиц (вытягиваемого тока), при этом характер влияния различен при разной полярности импульсов. Установлено влияние длительности импульса на ток поверхностного разряда, возникающего на фронте и спаде импульса напряжения. Приведены картины структуры поверхностного разряда на фронте и спаде импульса напряжения, полученные с помощью высокоскоростной камеры. Показано различие структуры разряда при различной полярности. Сделано предположение о том, что характеристики поверхностного разряда при питании его импульсным высоким напряжением зависят от сочетания ряда факторов: параметров импульсного напряжения, объемного заряда и заряда, осевшего на поверхность барьера, а также от материала и структуры поверхности барьера.

Ключевые слова: поверхностный барьерный разряд, импульсное высокое напряжение, длительность импульса, плазменный слой, структура разряда, вытягиваемый ток

Results of experimental investigation of surface barrier discharge in a three electrode system are presented. An analysis is done of the flow intensity of charged species extracted from the plasma layer of the surface discharge by the field of high dc potential of the third electrode. High unipolar periodic impulse voltage of 15 kHz frequency, impulse duration from 0.5 to 45 μ s and 150 ns impulse front duration is used to form the surface discharge. Essential influence of the voltage impulse duration on the intensity of charged species flow (extracted current) is revealed, the character of the influence being dependent on the voltage impulse polarity. The influence of voltage impulse duration on the surface discharge current is revealed as well. Pictures of the structure of surface discharge at the rise and the fall of the voltage impulse made by means of a high speed camera are presented. The difference of the discharge structure for different polarity of voltage impulse is revealed. An assumption is made that the surface discharge characteristics are dependent on a combination of a number of factors, such as the parameters of the impulse voltage, volume charge in the gas gap and the charge on the barrier surface, as well as the material and surface structure of the barrier.

Key words: surface barrier discharge, impulse high voltage, impulse duration, plasma layer, discharge structure, extracted current

Электротехника, №8-2017, стр.57-65

Анализ процессов очистки отходящих газов в пластинчатых электрофильтрах с учётом вторичного уноса частиц с электродов
ВЕРЕЩАГИН И.П., СМАГИН К.А., ЧЕКАЛОВ А.В., ХРЕНОВ С.И., МИРЗАБЕКЯН Г.З., ТИМОФЕЕВ Е.М.

Очистка дымовых выбросов от золы в пластинчатых электрофильтрах определяется в основном зарядкой, движением и осаждением частиц в поле коронного разряда («прямое» осаждение) и процессами сброса уже осажённых частиц обратно в промежуток («вторичный» унос). Последние процессы изучены в значительно меньшей степени и это ограничивает возможности расчёта эффективности работы электрофильтра. Отсутствие ясных представлений о физических процессах при вторичном уносе явилось основанием для развития методов расчёта с использованием результатов испытаний промышленных аппаратов. Представление степени очистки и проскока частиц в виде экспоненциальной зависимости позволило установить связь между условиями

работы электрофильтров и параметрами газоочистки. Отмечена важная роль формируемого на осадительных электродах слоя золы, предложена физико-математическая модель процессов, связанных с ростом слоя и со сбросом частиц с электродов в бункер. Выполнен анализ электрических сил, которые наряду с силами тяжести, когезии и адгезии определяют нарушение устойчивости слоя. Анализ начинается с простейшего случая поведения слоя частиц при внезапном включении поля. Далее рассматриваются процессы в пластинчатых электрофильтрах.

Ключевые слова: электрофильтр, вторичный унос, самоотряхивание, методика расчёта, эффективность очистки

The collection efficiency of a plate-type electrostatic precipitator (ESP) is mainly determined by particle charging, particle motion and precipitation in an electric field of corona discharge («direct» precipitation) and particle re-entrainment. Particle re-entrainment is poorly understood. This hampers consideration of re-entrainment in ESP modelling. Lack of knowledge of re-entrainment physics serves as a ground for development of a computational technique which is based on field trials of industrial ESP. The collection efficiency and particle penetration were approximated by an exponential law. This has made it possible to determine the relation between operating conditions of an ESP and parameters of the collection efficiency. It is noted that particle layer formation on the collecting electrodes plays an important role. A mathematical model of particle layer growth and particle dumping in to the hoppers is suggested. An analysis of the electric force acting on the particle layer was conducted. The electric force along with gravitational, cohesion and adhesion forces is responsible for the instability of the particle layer surface. The analysis begins with consideration of behavior of a particle layer to which an electrostatic field is applied. Particle precipitation and re-entrainment physics is considered later on.

Key words: electrostatic precipitator, re-entrainment, no rapping particle removal, modelling, collection efficiency

Электротехника, №8-2017, стр.67-73

Современные способы управления микро-ГЭС с асинхронным генератором
РЫВКИН С.Е., ЗИБОРОВ Г.Б., ЕЛЬ АЛАМИ А.

Обзор посвящен вопросам управления микро-гидроэлектростанциями с асинхронным генератором, преобразовывающей энергию водяного потока – перспективного альтернативного источника энергии – в электрическую энергию. Современная «зеленая электроника» позволяет сделать такие микро-ГЭС дешевыми и надежными в эксплуатации и обеспечить стабильность их выходных электрических параметров в условиях неизвестного характера изменения характеристик нагрузки и водяного потока. Рассмотрены вопросы самовозбуждения и работы микро-ГЭС на нагрузку. Приведены схемотехнические решения, базирующиеся на использовании различных топологий силовых преобразователей энергии для решения поставленной задачи управления, а также описания двух топологий с использованием звена постоянного тока с неуправляемым и управляемым выпрямителями и топология с системой СТАТКОМ. Обсуждены их достоинства и недостатки, показана перспективность данного подхода к построению микро-ГЭС на базе асинхронных генераторов. *Ключевые слова:* микро-ГЭС, асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором, способы управления, конденсаторная батарея, реактивная мощность.

The survey is dedicated by problems of micro hydropower plant's control using by squirrel cage induction generator. The energy of water flow is a perspective renewable energy source. It could be also cost-effective and reliable for producing the required output parameters like voltage and frequency regardless of load and water flow changes. The modes of self-excitation with no load and operation under load were considered. The article shows brand-new technologies using power converters specially for control problem solution. Topologies with uncontrolled and controlled rectifiers and topology of STATCOM were investigated. The advantages and disadvantages of such solutions were studied. Development of micro hydropower plant using by squirrel cage induction generator is an appropriate way to produce cheap qualitative electricity. *Key words:* micro hydropower plant, asynchronous generator with short-circuited rotor, control methods, capacitor bank, reactive power.

Электротехника, №8-2017, стр.74-80

Разработка топологии и анализ эффективности инверторов напряжения на составных резонансных ключах

ВОРОНИН П.А., ВОРОНИН И.П.

Рассмотрена эффективность применения составных резонансных ключей с последовательно-параллельным LCC контуром в автономных инверторах напряжения (АИН). Показано, что такие схемы работают в режиме двусторонней резонансной коммутации, при которой в выходных цепях основных ключей инвертора принудительно реализуются действительно нулевые напряжения и токи. Поскольку применение составных резонансных ключей требует контроля напряжения на конденсаторе последовательной LC цепи, предложено три схемных способа решения проблемы, в соответствии с которыми разработаны три новых варианта АИН на составных резонансных ключах. Интеграция составного резонансного ключа в структуру инвертора выполнена на базе типовых вариантов АИН с резонансной коммутацией, показавших на практике максимальную эффективность снижения энергии динамических потерь. Эффективность работы схем рассчитана с учетом дополнительных потерь, вносимых в схему инвертора работой вспомогательной резонансной цепи. Аналитическая оценка дополнительных потерь мощности проведена путем расчета огибающей амплитуды тока резонансного дросселя, непрерывно изменяющегося на периоде выходной частоты инвертора. Показано, что максимальной эффективностью обладает схема, в которой резонансный дроссель выполнен в виде реактивного компонента с двумя магнитно-связанными обмотками.

Ключевые слова: инвертор напряжения, составной резонансный ключ, резонансный дроссель, резонансный конденсатор.

The paper deals with the effectiveness of composite resonant switches in serial – parallel LCC tank of the voltage source inverter (VSI). It has been shown that these circuits operate in duplex mode of resonant switching, where main switches in the output circuit of the inverter perform really zero voltages and currents. The use of composite resonant switches of this type requires a voltage control on the capacitor of serial LC – circuit, so there are three ways to solve the problem in circuit. Therefore three new variants of VSI on composite resonance switches has been developed. The integration process of the composite resonance switch in the inverter structure is based on typical variants of VSI with resonant commutation, which show a maximum efficiency reduction of dynamic energy loss. The effectiveness of the circuit is designed with additional power losses that are made to the inverter by the auxiliary resonant circuit. Analytical estimation of additional power losses is made by a mathematical calculation of the envelope of the resonant inductor current amplitude continuously changing over

the period of the inverter output frequency. It has been shown that the maximum efficiency has a circuit in which the resonant inductor is designed as a reactive component with two magnetically-coupled windings.

Key words: voltage inverter, composite resonant switch, resonant inductor, resonant capacitor.

Электротехника, №8-2017, стр.81-85

Оценка возможностей стабилизации переменного напряжения с помощью импульсного инвертирующего преобразователя. Часть 1

КОРШУНОВ А. И.

Рассмотрены особенности работы стабилизатора напряжения переменного тока, инвертирующий импульсный преобразователь, при отсутствие искажений формы входного напряжения. Оценка свойств стабилизатора выполнена на основе его предельной непрерывной модели, соответствующей исчезающе малому периоду коммутации. Установлено, что в установившемся гармоническом режиме инвертирующий импульсный преобразователь можно рассматривать как регулируемый источник напряжения с выходным сопротивлением, пропорциональным полному сопротивлению дросселя. Показана возможность стабилизации выходного напряжения при изменении входного напряжения в широких пределах без предварительного его смещения. Для реальных требований к сглаживанию высокочастотных пульсаций выходного напряжения получены выражения для расчета индуктивности дросселя и емкости конденсатора по заданному допустимому размаху пульсаций тока дросселя и выходного напряжения при выбранной частоте коммутации. Исследован способ стабилизации напряжения, основанный на принципе управления по возмущающему воздействию, осуществляемому путем регулирования относительной длительности пребывания ключа в крайних положениях в зависимости от соотношения действительной и заданной амплитуды напряжения. В отличие от управления по отклонению (замкнутому контуру) в данном случае не возникает проблемы обеспечения устойчивости, поскольку устраняется причина изменения выходного напряжения, а не вызванное ей следствие. Установлено, что при достаточной частоте переключений структуры управление по возмущению позволяет получить достаточную точность стабилизации напряжения вследствие малого сопротивления дросселя.

Ключевые слова: стабилизатор напряжения переменного тока, инвертирующий импульсный преобразователь.

In article the main properties of the voltage stabilizers of alternating current using the inverting pulse converter are estimated. In part 1 features of operation of the stabilizer at lack of distortions of a form of entrance tension are considered. The assessment of properties of the stabilizer is made on the basis of its limit continuous model corresponding to vanishingly small period of switching. It is established that in the set harmonious mode the inverting pulse converter can be considered as an adjustable source of tension with the output resistance proportional to the full resistance of a throttle. Possibility of stabilization of output tension at change of entrance tension is shown over a wide range without its preliminary shift. For real requirements to smoothing of high-frequency pulsations of output tension expressions for calculation of inductance of a throttle and capacity of the condenser for the set admissible scope of pulsations of current of a throttle and output tension with the chosen switching frequency are received. The way of stabilization of tension based on the principle of management on the revolting influence which is carried out by regulation of relative duration of stay of a key in extreme provisions depending on a ratio of the valid and set tension amplitude is investigated. Unlike management on a deviation (on the closed contour) there is no problem of ensuring stability as the reason of change of output tension, but the consequence which isn't caused by it is eliminated. It is established that with a sufficient frequency of switchings of structure management on indignation allows to receive the sufficient accuracy of stabilization of tension owing to the small resistance of a throttle.

Key words: properties, voltage stabilizers of alternating current, the inverting pulse converter.

Электротехника, №8-2017, стр.86

Б.Н. Абрамович (К 80-летию со дня рождения)