

Содержание

Электротехника, 2022, №4, стр. 2-5

Распределение электрического поля в токопроводах напряжением 35 кВ с твердой изоляцией

КОВАЛЕВ Д.К., ВАРИВодОВ В.Н., ГОЛУБЕВ Д.В., ВОРОНКОВА Е.М., РОМАНОВ В.А.

Рассмотрено влияние различных конструктивных решений на кратковременную и длительную электрическую прочность литой эпоксидной изоляции. Выполнены расчеты электрической прочности для токопроводов 35 кВ в продольном и поперечном сечениях. Установлено соответствие конструкций токопроводов и муфт допустимым пороговым значениям напряженности электрического поля. Выполнены расчеты по градированию изоляции токопроводов 35 кВ. Учет градирования изоляции позволяет уменьшить диапазон распределения напряженности электрического по всей длине многослойной изоляции практически в 2,5 раза. Показано, что для токопровода 35 кВ оптимальное количество слоев равно шести.

Ключевые слова: токопровод, литая полимерная изоляция, градирование, коаксиальная конструкция, электрическая прочность.

The influence of various design solutions on the short-term and long-term electrical strength of cast epoxy insulation is considered. Calculations of electrical strength for 35 kV current lines in longitudinal and cross sections have been performed. The compliance of the designs of the current lines and couplings with the permissible threshold values of the electric field strength has been established. Calculations on the gradation of insulation of 35 kV current pipelines were performed. Taking into account the gradation of insulation makes it possible to reduce the range of electric voltage distribution along the entire length of the multilayer insulation by almost 2.5 times. It is shown that for a 35 kV current line, the optimal number of layers is six.

Key words: conductor, cast polymer insulation, rated voltage, gradation, coaxial design, dielectric strength.

Оценка влагоразрядных напряжений стеклянных тарельчатых изоляторов при искусственном загрязнении

ХРЕНОВ С.И., ГУБАЕВ Р.С., РММО М., БАЙДАКОВА А.А., ТРИФОНОВ В.В.

Исследована электрическая прочность высоковольтных стеклянных тарельчатых изоляторов (СТИ) типов ПСВ120Б (грязестойкого исполнения) и ПС160Д (нормального исполнения) российского производства, эксплуатируемых на воздушных линиях 66 и 230 кВ в промышленном районе Шейх-Наджар (Сирия), при искусственном загрязнении в лабораторных условиях. Приведены результаты влагоразрядных испытаний изоляторов ПСВ120Б, ПС160Д и эталонных изоляторов ПС70Е при искусственном загрязнении в соответствии с нормативными документами при различных степенях загрязнения. Даны рекомендации при выборе количества изоляторов по влагоразрядным характеристикам в промышленном районе Шейх-Наджар в зоне с четвертой степенью загрязнения изоляции увеличить число СТИ типа ПС160Д в поддерживающих гирляндах.

Ключевые слова: высоковольтные стеклянные изоляторы, степень загрязнения, искусственное загрязнение, влагоразрядные характеристики, удельная поверхностная проводимость.

The electrical strength of high-voltage glass plate insulators (STI) of types PSV120B (dirt-resistant design) and PS160D (normal design) of Russian production, operated on 66 and 230 kV overhead lines in the Sheikh Najjar industrial district (Syria), under artificial contamination in laboratory conditions, was investigated. The results of moisture-discharge tests of PSV 120B, PS 160D insulators and PS70E reference insulators under artificial contamination in accordance with regulatory documents at various degrees of contamination are presented. Recommendations are given when choosing the number of insulators according to moisture-discharge characteristics in the Sheikh-Najjar industrial district in the zone with the fourth degree of insulation contamination to increase the number of PS160D-type insulators in supporting garlands.

Key words: high-voltage glass insulators, degree of pollution, artificial pollution, moisture discharge characteristics, specific surface conductivity.

Использование искусственной грозовой ячейки для исследования воздействия атмосферного электричества и молнии на защищенные диэлектрическими оболочками элементы систем мониторинга ВЛ

ТЕМНИКОВ А.Г., БЕЛОВА О.С., ЧЕРНЕНСКИЙ Л.Л., ОРЛОВ А.В., ЛЫСОВ Н.Ю.

Представлены результаты физического моделирования воздействия атмосферного электричества и молнии на элементы систем мониторинга с полыми диэлектрическими оболочками (колпаков) с использованием искусственной грозовой ячейки отрицательной полярности. Установлено, что под воздействием искусственных грозовых ячеек на датчике под диэлектрическим колпаком сначала формируются положительная стримерная вспышка и квазипостоянные разрядные процессы, которые переходят в мощный реверсный разряд противоположной полярности. Установлено влияние объема диэлектрических колпаков и радиусов кривизны находящихся под ними модельных датчиков на параметры импульсов тока разряда. Показано, что с увеличением внутреннего объема диэлектрического колпака амплитуда импульса тока стримерной короны и перенесенный заряд реверсного разряда на стержневом модельном электроде под колпаком увеличиваются. Установлено, что с увеличением радиуса вершины стержневого электрода реверсный разряд нейтрализует больший по величине заряд, а амплитуды импульсов тока отрицательного реверсного разряда и крутизны импульса тока превышают аналогичные показатели для положительной стримерной вспышки. Показано, что параметры сигналов (импульсов тока), формируемых на защищенные диэлектрическими оболочками элементы систем мониторинга ВЛ при воздействии грозовых облако и молнии, будут зависеть от накопления зарядов на внутренней и внешней поверхностях оболочки.

Ключевые слова: атмосферное электричество, молния, стримерная корона, реверсный разряд, импульс тока. искусственная грозовая ячейка, физическое моделирование, диэлектрический колпак, система мониторинга.

The results of physical modeling of the effects of atmospheric electricity and lightning on the elements of monitoring systems with hollow dielectric shells (caps) using an artificial lightning cell of negative polarity are presented. It is established that under the influence of artificial lightning cells on the sensor under a dielectric cap, a positive streamer flash and quasi-constant discharge processes are first formed, which turn into a powerful reverse discharge of the opposite

polarity. The influence of the volume of the dielectric caps and the radii of curvature of the model sensors located under them on the parameters of the discharge current pulses is established. It is shown that with an increase in the internal volume of the dielectric cap, the amplitude of the current pulse of the streamer corona and the transferred charge of the reverse discharge on the rod model electrode under the cap increase. It was found that with an increase in the radius of the tip of the rod electrode, the reverse discharge neutralizes a larger charge, and the amplitudes of the current pulses of the negative reverse discharge and the steepness of the current pulse exceed similar indicators for a positive streamer flash. It is shown that the parameters of signals (current pulses) generated on the elements of overhead line monitoring systems protected by dielectric shells under the influence of thunderstorm clouds and lightning will depend on the accumulation of charges on the inner and outer surfaces of the shell.

Key words: atmospheric electricity, lightning, streamer corona, reverse discharge, current pulse, artificial lightning cell, physical modeling, dielectric cap, monitoring system.

Электротехника, 2022, №4, стр. 16-20

Спектральные характеристики сигналов, наводимых искусственной грозовой ячейкой на защищенных диэлектрическими оболочками модельных элементах систем мониторинга ВЛ

БЕЛОВА О.С., ТЕМНИКОВ А.Г., ЧЕРНЕНСКИЙ Л.Л., КИВШАР Т.К., КОВАЛЕВ Д.И.

Представлены результаты вейвлетного анализа спектрального состава сигналов, наводимых искусственной грозовой ячейкой на защищенных диэлектрическими оболочками модельных элементах систем мониторинга ВЛ, полученные при экспериментальном моделировании воздействия атмосферного электричества и молнии на элементы кибер-физических систем. Рассмотрено три системы электродных систем (датчиков или антенн приемно-передающих устройств) с модельными диэлектрическими оболочками. Определены характерные спектральные диапазоны, соответствующие формированию с модельного электрода под оболочкой стримерных вспышек и реверсных разрядов. Установлено, что спектральные характеристики наводимых сигналов зависят от параметров модельных электродов и размеров диэлектрических оболочек. Более высокие значения максимальных частот в спектре сигналов (импульсов тока) характерны для меньших диэлектрических оболочек. Установлено, что увеличение радиуса кривизны вершины модельного электрода под диэлектрической оболочкой приводит к снижению средних значений максимальной частоты в спектре сигнала, регистрируемого на модельном электроде, при развитии с его вершины стримерной вспышки. Отмечено

присутствие в спектре сигналов, наводимых искусственной грозовой ячейкой на защищенных диэлектрическими оболочками модельных элементах систем мониторинга ВЛ, частотных диапазонов в единицы-десятки МГц, что может вызывать ложные срабатывания и сбои в работе датчиков, аналого-цифровых преобразователей и устройств передачи информации. Все это необходимо учитывать при анализе возможного воздействия электромагнитного излучения атмосферного электричества и молнии на элементы интеллектуальных систем мониторинга, диагностики и управления энергообъектами, которые включают в свой состав компоненты из диэлектрических и композиционных материалов.

Ключевые слова: искусственная грозовая ячейка, модельный электрод, диэлектрическая оболочка, вейвлетный анализ, наводимый сигнал, спектральные характеристики, система мониторинга, стримерная вспышка, реверсный разряд.

The results of the wavelet analysis of the spectral composition of signals induced by an artificial lightning cell on model elements of overhead line monitoring systems protected by dielectric shells, obtained during experimental modeling of the effects of atmospheric electricity and lightning on elements of cyber-physical systems, are presented. Three systems of electrode systems (sensors or antennas of receiving and transmitting devices) with model dielectric shells are considered. The characteristic spectral ranges corresponding to the formation of streamer flashes and reverse discharges from the model electrode under the shell are determined. It is established that the spectral characteristics of the induced signals depend on the parameters of the model electrodes and the sizes of the dielectric shells. Higher values of maximum frequencies in the spectrum of signals (current pulses) are characteristic of smaller dielectric shells. It is established that an increase in the radius of curvature of the vertex of the model electrode under the dielectric shell leads to a decrease in the average values of the maximum frequency in the spectrum of the signal recorded on the model electrode when a streamer flash develops from its vertex. The presence in the spectrum of signals induced by an artificial lightning cell on model elements of overhead line monitoring systems protected by dielectric shells, frequency ranges in units-tens MHz, which can cause false alarms and malfunctions of sensors, analog-to-digital converters and information transmission devices, is noted. All this must be taken into account when analyzing the possible effects of electromagnetic radiation from atmospheric electricity and lightning on the elements of intelligent monitoring, diagnostics and control systems of power facilities, which include components made of dielectric and composite materials.

Key words: artificial lightning cell, model electrode, dielectric shell, wavelet analysis, induced signal, spectral characteristics, monitoring system, streamer flash, reverse discharge.

Электротехника, 2022, №4, стр. 21-25

Добавочные явления в синхронной явнополюсной машине, вызванные магнитными потоками зубцов статора и ротора

АФАНАСЬЕВ А.А.

Рассмотрены дополнительные явления в синхронной явнополюсной машине, связанные с зубцовыми структурами статора и ротора в предположении, что амплитуды соответствующих зубцовых индукций известны. Проанализированы механизмы и результаты воздействия этих индукций на обмотки статора и ротора. Предложены аналитические выражения для оценки этого воздействия при вариации зубцовых делений статорного и роторного сердечников. Рассчитаны ожидаемые токи в стержнях демпферной обмотки и ЭДС обмотки статора конкретной мощной явнополюсной синхронной машины.

Ключевые слова: синхронная явнополюсная машина, магнитные потоки, интерференционные явления, несинусоидальность фазного и линейного напряжения.

Additional phenomena related to the tooth structures of both the stator and the rotor are considered separately, assuming that the amplitudes of the corresponding tooth inductions are known. The mechanisms and results of the effect of these inductions on the stator and rotor windings are analyzed. Analytical expressions for the evaluation of this effect in the case of variations in the tooth divisions of the stator and rotor cores are proposed. The expected currents in the rods of the damper winding and the EMF of the stator winding of a specific powerful single-pole synchronous machine are calculated.

Key words: synchronous single-pole machine, magnetic fluxes, interference phenomena, non-sinusoidality of phase and line voltage.

Применение технологии цифровых двойников при разработке тяговых асинхронных электродвигателей

ЗАХАРОВ А.В., ЗАЙЦЕВ А.М., КОБЕЛЕВ А.С., МАКАРОВ Л.Н., РОЗАНОВ Д.Ю.

Приведены основные результаты разработки цифрового двойника тягового электродвигателя ТАД3ВМ280-4У2 для привода перспективного метропоезда. Приведен перечень математических моделей, включенных в состав цифрового двойника и показано взаимодействие между математическими моделями и реальным объектом. На основе использования взаимодействующих моделей решены задачи поиска наилучшей формы аксиальных каналов статора и выполнена оптимизация шлицевой зоны паза ротора. Приведен пример моделирования разгона электродвигателя в условиях движения нагруженного состава; для данного численного эксперимента найдены наилучшие параметры настройки зависимости напряжения от частоты для преобразователя со скалярным управлением. Поставлен вопрос о необходимости изменения концепции формирования технических требований на тяговые электрические двигатели.

Ключевые слова: метрополитен, тяговый асинхронный двигатель, частотное управление, цифровой двойник.

The paper presents the main results of the development of a digital twin of the traction electric motor TAD3VM280-4U2 to drive the trolley of a promising metro train. The list of mathematical models included in the digital double is given, the interaction between mathematical models and a real object is shown. It is shown how, based on the use of interacting models, the problems of finding the best shape of the axial channels of the stator are solved, the optimization of the slot zone of the rotor is carried out. An example of modeling the acceleration of rotor of motor in the conditions of movement of a loaded train is given, for this numerical experiment the best parameters for adjusting the voltage dependence on frequency for a scalar-controlled converter are found. The question of the need to change the concept of the formation of technical requirements for traction electric motors is raised.

Key words: metro, traction asynchronous motor, frequency control, digital twin.

Электропривод переменного тока открывания днища ковша экскаватора

МАЛАФЕЕВ С.И.

Рассмотрены результаты проектирования и промышленной эксплуатации нового электропривода переменного тока открывания днища ковша экскаватора. Электропривод выполнен по системе инвертор напряжения – асинхронный двигатель с главной обратной связью по моменту. Для управления трехфазным асинхронным двигателем применен принцип трансвекторного управления с ориентацией по полю с адаптивным наблюдателем на основе фильтра Калмана. Для измерения частоты вращения использован импульсный датчик. Наблюдатель вычисляет оценки потокосцепления, момента и составляющих тока по данным измерения фазных токов и напряжений двигателя и частоты его вращения. При включении привода контроллер задания режима формирует сигналы задания момента и потокосцепления, соответствующие работе устройства при подтягивании троса. При этом трос наматывается на барабан при подтягивании или разматывается при выдвигании рукояти экскаватора. При включении машинистом кнопки управления контроллер задания режима привода устанавливает сигналы, соответствующие моменту и потокосцеплению при выдергивании засова. После выдергивания засова формируется сигнал, устанавливающий сигналы задания для привода, соответствующие режиму подтягивания троса. Приведены основные расчетные соотношения для выбора двигателя привода открывания днища ковша. Электропривод использован на экскаваторе ЭКГ-12К на Михайловском горно-обогатительном комбинате.

Ключевые слова: экскаватор, электропривод, ковш, асинхронный электродвигатель, управление.

The results of the design and industrial operation of a new AC electric drive for opening the bottom of the excavator bucket are considered. The electric drive is made according to the voltage inverter – asynchronous motor system with the main torque feedback. To control a three-phase induction motor, the principle of transvector control with field orientation with an adaptive observer based on the Kalman filter is applied. A pulse sensor is used to measure the rotational speed. The observer calculates estimates of the flow coupling, torque and current components based on the measurement of the phase currents and voltages of the induction motor and its rotation frequency. When the drive is turned on, the mode setting controller generates signals for setting the torque and flow coupling corresponding to the operation of the device when pulling the cable. In this case, the cable is wound on the drum when pulling up or unwound when the excavator handle is extended. When the driver turns on the control button, the controller for setting the drive mode sets the signals corresponding to the torque and flow coupling when

pulling the bolt. After the bolt is pulled out, a signal is generated that sets the task signals for the drive corresponding to the cable tightening mode. The main calculation ratios for the choice of drive motor of the bottom of the excavator bucket are given. The electric drive is used on the EKG-12K excavator at the Mikhailovsky mining and processing plant.

Keywords: excavator, electric drive, bucket, AC induction motor, control.

Электротехника, 2022, №4, стр. 39-43

Релейная защита на герконах без трансформаторов тока

КЛЕЦЕЛЬ М.Я., МАШРАПОВ Б.Е., ИСАБЕКОВ Д.Д., АМРЕНОВА Д.Т.

Предлагаемое устройство защиты объединяет функции трансформаторов тока и реле тока. Устройство содержит геркон, два конденсатора, два миниатюрных реле и три резистора. Герконы крепятся вблизи шин электроустановки на безопасном расстоянии. Параметры реле рассчитываются на основе операторного метода. Реле удовлетворяет требованиям чувствительности и быстродействия. В отличие от аналогичных, оно не работает излишне при залипании контактов и кратковременных помехах, снабжено тестовой диагностикой и простыми конструкциями для крепления, позволяющими регулировать параметры срабатывания реле. Экспериментальная проверка подтвердила работоспособность устройства.

Ключевые слова: токовое реле, геркон, трансформаторы тока, эксперимент.

The relay protection proposed device combines the functions of current transformers and current relays. The device contains a reed switch, two capacitors, two miniature relays and three resistors. Reed switches are attached near the tires of the electrical installation at a safe distance. Relay parameters are calculated based on the operator method. The relay meets the requirements of sensitivity and performance. Unlike similar ones, it does not work unnecessarily when contacts stick and short-term interference, it is equipped with test diagnostics and simple mounting structures that allow you to adjust the parameters of the relay operation. An experimental test confirmed the operability of the device.

Key words: current relay, reed switch, current transformers, experiment.

Оценка когерентности сигналов при анализе осциллограмм токов и напряжений промышленной частоты

КУЛИКОВ А.Л., ИЛЮШИН П.В., СЕВОСТЬЯНОВ А.А.

Децентрализация энергетики приводит к массовой интеграции в электроэнергетические системы разнородных объектов распределенной генерации, включая объекты на основе возобновляемых источников энергии, а также другого оборудования с элементами силовой электроники. Эти объекты оказывают существенное влияние на режимы функционирования систем, характер и параметры переходных процессов, показатели качества электрической энергии, в том числе, синусоидальность токов и напряжений. Широко применяемые алгоритмы оценки параметров токов и напряжений на основе дискретного преобразования Фурье при существенном отклонении показателей качества электроэнергии от нормируемых значений могут давать значительные ошибки. В таких условиях возникает необходимость в применении в измерительных органах интеллектуальных электронных устройств новых методов цифровой обработки сигналов. Обоснована необходимость применения адаптивной цифровой обработки сигналов для повышения точности оценок параметров сигналов промышленной частоты, позволяющей устранить или минимизировать влияние переходных процессов на анализируемые сигналы. Рассмотрена возможность использования методов статистического анализа, а также понятия когерентности сигналов при исследовании осциллограмм токов и напряжений в аварийных режимах. Для оценки когерентности сигналов промышленной частоты предложено применение авто- и взаимно корреляционных функций. Результатами имитационного моделирования подтверждена эффективность предложенного подхода для фиксации факта и момента начала переходного процесса. Предложена область применения адаптивной цифровой обработки сигналов токов и напряжений.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, распределенная генерация, аварийный режим, показатели качества электрической энергии, адаптивная цифровая обработка.

The decentralization of energy leads to the mass integration of heterogeneous distributed generation facilities, including facilities based on renewable energy sources, as well as other equipment with power electronics elements, into electric power systems. These objects have a significant impact on the modes of operation of systems, the nature and parameters of transients, indicators of the quality of electrical energy, including the sinusoidality of currents and voltages.

Widely used algorithms for estimating the parameters of currents and voltages based on the discrete Fourier transform with a significant deviation of the electric power quality indicators from the normalized values can give significant errors. In such conditions, there is a need to apply new methods of digital signal processing in the measuring bodies of intelligent electronic devices. The necessity of using adaptive digital signal processing to improve the accuracy of estimates of the parameters of industrial frequency signals, which allows to eliminate or minimize the influence of transients on the analyzed signals, is justified. The possibility of using methods of statistical analysis, as well as the concept of signal coherence in the study of current and voltage waveforms in emergency modes is considered. To assess the coherence of industrial frequency signals, the use of auto - and cross-correlation functions is proposed. The results of the simulation confirmed the effectiveness of the proposed approach for fixing the fact and the moment of the beginning of the transition process. The field of application of adaptive digital signal processing of currents and voltages is proposed.

Key words: electric power system, distributed generation, emergency mode, electric energy quality indicators, adaptive digital processing.

Электротехника, 2022, №4, стр. 54-61

Физические основы и методы расчета феррорезонанса

ЗИЛЕС Л.Д.

Введено понятие симметричного феррорезонанса как одного из возможных режимов колебательного контура rLC с нелинейной индуктивностью, картина которого идентична наблюдаемой при феррорезонансе в электрических сетях. Режим является периодическим, причем соседние полупериоды отличаются только знаками токов и напряжений. Часть каждого полупериода соответствует насыщенному, остальное время – ненасыщенному состоянию магнитопровода. Анализ симметричного феррорезонанса с помощью известной кусочно-линейной аппроксимации кривой намагничивания индуктивности позволяет не только объяснить происходящие в контуре физические процессы, но и получить простые, физически очевидные и достаточно точные оценки тока, напряжений, зон существования и устойчивости процесса. Адекватность «физического» подхода к феррорезонансу подтверждена контрольными расчетами.

Ключевые слова: колебательный контур, нелинейная индуктивность, кривая намагничивания, феррорезонанс.

The concept of symmetric ferroresonance is introduced as one of the possible modes of the rLC

oscillatory circuit with nonlinear inductance, the pattern of which is identical to that observed with ferroresonance in electrical networks. The mode is periodic, and the adjacent half-periods differ only in the signs of currents and voltages. Part of each half-period corresponds to the saturated, the rest of the time to the unsaturated state of the magnetic circuit. The analysis of symmetric ferroresonance using the known piecewise linear approximation of the inductance magnetization curve allows not only to explain the physical processes occurring in the circuit, but also to obtain simple, physically obvious and fairly accurate estimates of the current, voltages, zones of existence and stability of the process. The adequacy of the «physical» approach to ferroresonance is confirmed by control calculations.

Key words: oscillatory circuit, nonlinear inductance, magnetization curve, ferroresonance.

Электротехника, 2022, №4, стр. 62-63

Авторы номера