

Топология мощного составного транзистора и его блокирующая способность при коммутации

ВОРОНИН П.А., ВОРОНИН И.П., РОЗАНОВ Ю.К.

Рассматривается проблема сохранения блокирующей способности мощного составного транзистора в динамических (коммутационных) режимах. Составной транзистор представляет собой последовательное соединение высоковольтного индукционного тиристора с электростатическим управлением и низковольтного МОП (*Металл–Оксид–Полупроводник*) транзистора, обеспечивающего управление по цепи изолированного затвора. Важным компонентом составной схемы является также ключевой пороговый элемент, который обеспечивает режим плавающего потенциала в цепи затвора индукционного тиристора при его открытом состоянии и фиксацию затвора на общую шину при его запираании. Аварийные ситуации, приводящие к выходу составного транзистора из строя, возникают в переходном процессе выключения и связаны с двумя основными причинами – снижением отрицательного запирающего напряжения в цепи затвор – исток индукционного тиристора ниже уровня, обеспечивающего смыкание областей пространственного заряда в его базовой области, и повышением напряжения в выходной цепи низковольтного управляющего МОП-транзистора выше максимально допустимого уровня. Получены математические критерии обеспечения блокирующей способности мощного составного транзистора. Показано, что для надежной работы составной схемы необходимо снижать амплитуду обратного тока в цепи затвора индукционного тиристора, уменьшать паразитное сопротивление и паразитную индуктивность в контуре коммутации и согласовывать значения паразитных емкостей в элементах составной схемы. На основе предложенной аналитической модели рассмотрены способы обеспечения блокирующей способности составного транзистора для ряда практических схемных вариантов с различными пороговыми элементами.

Ключевые слова: составной транзистор, статический индукционный тиристор, МОП-транзистор, пороговый элемент, затвор, паразитная индуктивность, коэффициент запираания.

The article deals with the problem of preserving the blocking ability of a power composite transistor in dynamic (switching) modes. A composite transistor consists of a high-voltage induction thyristor with electrostatic control in a serial connection with a low-voltage MOSFET (*Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor*) which provides control over isolated gate

circuit. An important component of the composite circuit is also a switching threshold element. The threshold element provides a floating potential mode in the gate circuit of the induction thyristor when it is open and fixes the gate to the common bus when it is locked. Emergency situations leading to the output of the composite transistor fail, occur in the transient shutdown process and are associated with two main causes. The first reason is the reduction of the negative gate voltage in the gate-source circuit of the induction thyristor below the level that ensures the space charge regions close in its base region. The second reason is the voltage increase in the output circuit of the low-voltage MOSFET transistor above the maximum permissible level. The article presents the mathematical criteria for providing the blocking ability of a power composite transistor. Here in the paper it is proved that for reliable operation of the composite circuit it is necessary to reduce the amplitude of the reverse current in the inductive thyristor gate circuit, reduce the parasitic resistance and parasitic inductance in the switching circuit and harmonize the values of the parasitic capacitances in the elements of the composite circuit. On the basis of the presented analytical model, there are proposed methods for providing the blocking ability of a composite transistor for a number of practical circuit variants with different threshold elements.

Key words: composite transistor, static induction thyristor, MOSFET, threshold element, gate, parasitic inductance, blocking factor.

Электротехника, 2019, №2, стр. 10-17

**Силовые полупроводниковые ключи для импульсных преобразователей
электроэнергии с модульно-масштабируемой архитектурой**

РЕЗНИКОВ С.Б., ВОЛЬСКИЙ С.И., ВЫШКОВ Ю.Д., КИРИЛЛОВ В.Ю., ХАРЧЕНКО
И.А.

Рассмотрены нетрадиционные схемотехнические решения для построения обратимых многофункциональных импульсных преобразователей (МИП) переменных (в том числе – трехфазных) и постоянных напряжений с регулируемыми параметрами, коррекцией коэффициента мощности, заданной формой внешних вольтамперных характеристик и мягкой коммутацией. Такие МИП предусматривают гибкую модульно-масштабируемую архитектуру с последовательным и параллельным наращиванием количества модулей. Предложенные решения позволяют синтезировать транспортные и стационарные электроэнергетические комплексы с высокотехнологичной гибкой модульно-масштабируемой архитектурой на базе отечественных силовых полупроводниковых ключей. Статья представляется полезной для широкого круга исследователей и разработчиков вторичных источников электропитания стационарных и транспортных

систем электроснабжения, в частности – перспективных полностью электрифицированных самолетов, систем транспортно-тяговой электротрансмиссии с контактно-сетевым и автономным питанием (с возвратом энергии в источник при рекуперативном торможении), ветро- и дизель-электростанций, «высоковольтных электронных трансформаторов» и др.

Ключевые слова: силовая электроника, высоковольтные транзисторные ключи, импульсные вторичные источники электропитания, электроэнергетические комплексы, системы электроснабжения, полностью электрифицированные самолеты, транспортно-тяговая электротрансмиссия, ветро- и дизель-электростанции, «электронные трансформаторы».

The article discusses the unconventional circuit solutions for constructing reversible multifunctional pulse converters (MPC) variables (including three phase) and DC voltages with adjustable parameters, correction of a power factor, the specified shape of the external volt-ampere characteristics and the soft switching. These reversible MPS provides a flexible modular and scalable architecture with serial and parallel increase of the number of modules. Solutions allow to synthesize transportation and stationary power generation systems with a high-tech flexible modular and scalable architecture based on domestic items of power semiconductor switches. The article may be useful for a wide range of researchers and developers of the secondary power supply sources for stationary and transport power supply systems, particularly promising for fully-electric aircraft systems of the transport traction electrical transmission with contact-network and self-powered (return energy to the source during regenerative braking), wind and diesel power plants, «high-voltage electronic transformers», etc.

Key words: power electronics, high voltage transistor switches, the pulsed secondary power supply sources, electricity power complex, electricity system, a fully electrified aircraft, transport traction electric transmission, wind and diesel power plants, «electronic transformers».

Электротехника, 2019, №2, стр. 17-23

Математические модели асинхронной машины в полярных координатах с учетом насыщения главной магнитной цепи

ЛАЗОВСКИЙ Э.Н., ПАНТЕЛЕЕВ В.И., ПАХОМОВ А.Н., ФЕДОРЕНКО А.А.

Предложены математические модели асинхронной машины в полярных координатах, учитывающих насыщение главной магнитной цепи. Программные реализации предлагаемых математических моделей и численные исследования воспроизводимых ими

процессов выполнены в вычислительной среде MATLAB (пакет прикладных программ SIMULINK). Определены особенности программной реализации таких моделей. Установлено, что они достаточно точно описывают процессы в асинхронной машине на рабочем участке ее механической характеристики. Показано, что математические модели в полярных координатах воспроизводят процессы в асинхронной машине в целом с той же точностью, что и получившие широкое применение подобные модели в декартовых координатах.

Ключевые слова: асинхронная машина, математическая модель, полярные координаты, насыщение.

Mathematical models of the asynchronous machine in polar coordinates taking into account saturation of the main magnetic circuit are offered. Software implementations of the proposed mathematical models and numerical studies of the processes reproduced by them are performed in the computing environment MATLAB (SIMULINK application package). Features of program realization of such models are defined. It is established that they accurately describe the processes in the asynchronous machine on the working site of its mechanical characteristics. It is shown that the mathematical model in polar coordinates reproduce the processes in the asynchronous machine as a whole with the same precision, and widely used such models in Cartesian coordinates.

Key words: asynchronous machine, mathematical model, polar coordinates, saturation.

Электротехника, 2019, №2, стр. 24-31

Дискретная математическая модель на основе билинейного преобразования синхронной электрической машины с витковым замыканием в обмотке ротора
ПОЛИЩУК В.И., ТИМОШКИН В.В., ГЛАЗЫРИН А.С., БОЛОВИН Е.В.

К перспективным дискретным математическим моделям предъявляются ряд требований: малый шаг дискретизации, гарантированная асимптотическая устойчивость (по Ляпунову), явный характер численных методов, программно-алгоритмическая оптимизация вычислений. В статье рассмотрено применение билинейного преобразования для построения дискретной математической модели синхронной электрической машины с витковым замыканием в обмотке ротора. Такой подход позволяет решить ряд проблем, которые возникают при использовании стандартных методов решения задачи Коши, а именно нестационарность динамических систем, влияние ошибки интегрирования на точность. Рассмотрен переход от системы дифференциальных уравнений, описывающих

физику работы синхронного генератора, к разностным. На основе полученных разностных уравнений составлена структурная схема, позволяющая программно реализовать на микроконтроллере математическую модель без применения дополнительных математических функций. Выполнена экспериментальная проверка адекватности полученной дискретной математической модели синхронного генератора с витковым замыканием. Предложенный подход может быть использован для решения задач распознавания межвитковых замыканий, где необходима адекватная, быстродействующая и устойчивая модель.

Ключевые слова: синхронная электрическая машина, обмотка ротора, витковое замыкание; дискретная математическая модель; изображение по Лапласу; z-изображение, преобразование Тастина

To perspective discrete-time mathematical models a number of requirements are shown: small sampling interval, the guaranteed Lyapunov stability, explicit type of numerical methods, program and algorithmic optimization of simulation. In this paper application of bilinear transform for creation the discrete mathematical model of synchronous machine with rotor inter-winding fault is considered. This approach allows solving number of challenges which arise using standard optimization methods: time-varying dynamic system parameters, influence of integration error on accuracy. In this work conversion from differential equations system describing physical process of the synchronous generator to difference equations system is considered. Structure of the discrete time-variant mathematical model is created applying difference equations system. This model can be realized on the DSP without spending excessive of computational resources. Discrete time-variant mathematical model of synchronous machine with rotor inter-winding fault is tested using test bench. The offered method for designing of discrete mathematical model of the synchronous machine can be used for the solution of the turn-to-turn short circuit diagnostic problems and this model meets technical requirements.

Key words: synchronous machine, rotor winding, inter-winding fault, discrete time-variant mathematical model, Laplace-domain, z-domain, Tustin transformation.

Электротехника, 2019, №2, стр. 32-35

Устройство для определения эксцентриситета ротора вращающихся электрических машин

НОВОЖИЛОВ А.Н., ЮСУПОВА А.О., НОВОЖИЛОВ Т.А.

Одним из часто встречающихся повреждений во вращающихся электрических машинах с

выносными опорами является эксцентриситет ротора, который сопровождается ухудшением электромеханических характеристик электрической машины, а при значительном смещении сердечника ротора приводит к сильному разогреву сердечников статора и ротора из-за трения и повреждению изоляции обмоток статора и ротора, короткому замыканию и длительному выходу машины из строя. Однако известные методы и способы диагностики эксцентриситета не получили широкого применения из-за сложности реализации и недостаточной чувствительности, которая ограничена зависимостью систем диагностики от колебаний параметров сети и нагрузки электрической машины. Чувствительность предлагаемого устройства не зависит от перечисленных выше факторов, так как смещение ротора контролируют путем измерения емкости относительно вала ротора у каждого из торцов электрической машины в четырех точках с помощью емкостных датчиков, разнесенных равномерно по окружности. Сигнал с этих датчиков через измерительные мосты, полосно-пропускающие фильтры и пороговые элементы поступает на блок индикации и блок формирования отключающего сигнала. Оценка результатов диагностики осуществляется по двум обоснованным критериям. В результате устройство диагностики способно определить не только уровень эксцентриситета ротора, но и направление его перемещения.

Ключевые слова: электрическая машина, эксцентриситет ротора, устройство диагностики.

One of the common damages in rotating electric motors with outriggers is the eccentricity of the rotor, which is accompanied by a deterioration in the electromechanical characteristics of the electric motor, and with a significant displacement of the rotor core. The core of the stator and rotor are strongly heated due to their friction, followed by damage to the insulation of the stator and rotor windings, a short circuit and a long motor outage. However, the known methods and methods for diagnosing eccentricity have not been widely used due to the complexity of implementation and insufficient sensitivity, which is limited by the dependence of the diagnostic systems on variations in the network parameters and the load of the electric motor. The sensitivity of the proposed device does not depend on the factors listed above, since the displacement of the rotor is controlled by measuring the capacitance relative to the rotor shaft at each end of the electric motor at four points using capacitive sensors spaced evenly around the circumference. The signal from these is fed sensors through the measuring bridges, band-pass filters and threshold elements to the indicating unit and the block for generating the off-switching signal. Evaluation of diagnostic results is carried out on two reasonable criteria. As a result, the diagnostic device is able to determine not only the eccentricity of the rotor, but also

the direction of displacement of the rotor.

Key words: electric motor, rotor eccentricity, diagnostic device.

Электротехника, 2019, №2, стр. 36-41

Сверхпроводниковый ограничитель тока короткого замыкания мощностью 16 МВА
ФИШЕР Л.М., АЛФЕРОВ Д.Ф., БУДОВСКИЙ А.И., ВОЛОШИН И.Ф., ЕВСИН Д.В.,
КАЛИНОВ А.В., КУЗНЕЦОВА М.П., РАЧИЦКИЙ Д.Г., ЦХАЙ Е.В.

Приведены результаты испытаний резистивного коммутационного сверхпроводникового ограничителя тока (СОТ) короткого замыкания для сетей постоянного тока с максимальным напряжением 4,1 кВ и номинальным током 4 кА. Ключевыми узлами СОТ являются сверхпроводниковый блок и автоматический быстродействующий вакуумный выключатель. Сверхпроводниковый блок состоит из восьми параллельно-последовательно соединенных модулей, каждый из которых содержит четыре параллельные высокотемпературные сверхпроводниковые (ВТСП) ленты. Испытания СОТ проведены в режиме имитации тока короткого замыкания с максимальным током 20 кА (максимальная скорость нарастания тока – 2500 А/мс) при напряжении 4 кВ. Испытания показали способность СОТ ограничивать ток до 4 кА и отключать его через 5 мс после начала режима ограничения тока. Среднее значение температуры ВТСП ленты при длительности ограничения тока 5 мс достигало 190 К, что укладывается в интервал допустимых температур (менее 290 К). Время восстановления сверхпроводимости СОТ после отключения тока не превышало 0,3 с.

Ключевые слова: сверхпроводниковый ограничитель тока, высокотемпературный сверхпроводник, быстродействующий вакуумный выключатель, ток короткого замыкания, постоянный ток.

The results of tests of resistive switching superconducting current limiter (SFCL) of short circuit for DC networks with a maximum voltage of 4,1 kV and a rated current of 4 kA are presented. The key components of the SFCL are superconducting unit and automatic high-speed vacuum circuit breaker. Superconducting unit consists of eight parallel-series connected modules, each of which contains four parallel high-temperature superconducting tapes. Test SFCL carried out in simulation mode short-circuit current with a maximum current of 20 kA (maximum rate of rise of current is 2500 A/ms) at a voltage of 4 kV. Tests showed the ability of SFCL to limit the

current up to 4 kA and turn it off 5 ms after the start of the current limitation mode. The average temperature of the HTS tape with a current limitation duration of 5 ms reached 190 K, which falls within the range of permissible temperatures (less than 290 K). The recovery time of the superconductivity of SFCL after a current cut-off did not exceed 0,3 s.

Key words: superconducting fault current limiter, high temperature superconductor, high-speed DC vacuum circuit-breaker, fault current, direct current.

Электротехника, 2019, №2, стр. 42-47

Система автоматизированного проектирования молниезащиты подстанций и воздушных линий

БОРИСОВ Р.К., ЖУЛИКОВ С.С., КОШЕЛЕВ М.А., МАКСИМОВ Б.К., МИРЗАБЕКЯН Г.З., ТУРЧАНИНОВА Ю.С., ХРЕНОВ С.И.

Разработана система автоматизированного проектирования (САПР) молниезащиты типовых электрических подстанций и воздушных линий. Составлен программный комплекс, содержащий модули расчёта зон защиты от прямого удара молнии, обратных перекрытий изоляции первичных и вторичных цепей, наведенных импульсных напряжений во вторичных цепях, молниезащиты воздушных линий, защиты подстанции от грозовых перенапряжений совместно с воздушными линиями. Создана база данных типовых решений по молниезащите, которая представляет собой структурированную коллекцию файлов, содержащих планы расположения зданий и оборудования на подстанции и схему расстановки молниеотводов с учетом требований электромагнитной совместимости. База данных по заземляющим устройствам молниеотводов представляет собой структурированный набор типовых схем заземления молниеотводов. Для поиска требуемого типового решения пользователь при помощи стандартных средств для работы с файлами Windows выполняет выбор нужной папки по параметрам. На основе нормативных документов по системной и программной инженерии разработана методика верификации компьютерных программ для применения в составе разрабатываемой САПР молниезащиты подстанций и воздушных линий. В основу методики верификации положено тестирование компьютерных программ в составе разрабатываемой системы с помощью наборов тестов, составленных из контрольных примеров. Разработаны контрольные примеры и наборы тестов для проведения тестирования компьютерных программ. САПР позволяет существенно снизить затраты на проектирование молниезащиты и повысить качество проектов.

Ключевые слова: подстанции, воздушные линии, молниезащита, автоматизированное проектирование, программный комплекс, верификация программ.

Algorithms for computer-aided design of lightning protection of typical power substations and power lines have been compiled. A software package has been developed that contains calculation modules for: protection zones against direct lightning strike; reverse overlap insulation primary and secondary circuits; induced impulse voltages in secondary circuits; lightning protection of power lines, protection of power substations from lightning surges together with power lines. A database of typical solutions for lightning protection has been created, which is a structured collection of files containing plans for the location of buildings and equipment at a power substation and a circuit for the distribution of lightning arresters taking into account the requirements of electromagnetic compatibility. The data base for grounding devices of lightning conductors is a structured set of typical grounding schemes for lightning conductors. To find the required typical solution, the user, using standard tools for working with files, Windows selects the desired folder by parameters. On the basis of regulatory documents on system and software engineering, a technique for verifying computer programs has been developed for use as part of the computer-aided design of lightning protection for power substations and power lines. The verification methodology is based on testing computer programs as part of a computer-aided design system under development using test sets made up of test cases. Test cases and test suites for testing computer programs have been developed. The computer-aided design system can significantly reduce the cost of designing lightning protection and improve the quality of projects.

Key words: substations, air lines, lightning protection, computer-aided design algorithm, software, computer software verification.

Электротехника, 2019, №2, стр. 48-52

Трехпроводная линия электропередачи в теории многополюсников

БОЛЬШАНИН Г.А.

Трехфазную линию электропередачи трехпроводного исполнения можно представить совокупностью однородных участков, каждый из которых можно заместить восьмиполюсником. Уравнения восьмиполюсника устанавливают связь между его входными и выходными характеристиками а его коэффициенты определяются экспериментально. Такое описание линии электропередачи оказывается слишком

громоздким. В статье предлагается всю линию электропередачи заместить единым восьмиполюсником, состояние которого также может быть описано аналогичными уравнениями, а численные значения его коэффициентов могут быть определены экспериментально. Получены формулы для определения обобщенных вторичных параметров ЛЭП. Такая методика позволяет с высокой точностью оценить результаты передачи электрической энергии по анализируемой линии электропередачи.

Ключевые слова: линия электропередачи, первичные и вторичные параметры, восьмиполюсник, коэффициенты восьмиполюсника.

The three-phase power line of three-wire execution can be presented set of uniform sites. Each uniform site can be replaced with an eight-pole. The equations of an eight-pole establish connection between entrance and output characteristics of electric energy. Coefficients of an eight-pole are offered to be defined experimentally. The description thus of all power line is too bulky. It is offered to replace all power line with a uniform eight-pole. His state can be described by the similar equations too, and numerical values of his coefficients can be defined experimentally. Formulas for determination of the generalized secondary parameters of the power line are received. Such technique allows to estimate results of transfer of electric energy on the analyzed power line with high precision. She can be perspective at the providing a series of necessary experiments ought technical.

Key words: transmission line, eight-pole, eight-pole coefficients, primary and secondary parameters.

Электротехника, 2019, №2, стр. 53-57

Локационный способ обнаружения неисправностей на разветвленных электролиниях

ШАГИЕВ Р.И., КАРПОВ А.В., КАЛАБАНОВ С.А.

Статья посвящена применению локационного метода при различных отношениях сигнал-шум для поиска места повреждения на разветвленных электрических линиях. Предложена имитационная модель разветвленной электролинии в Matlab, в которой исследуется относительная ошибка определения места повреждения при изменении отношения сигнал/шум на линии и моделировании различных типов повреждений. В качестве локационного сигнала использованы три моделируемых импульса: одиночный

прямоугольный импульс, ЛЧМ-сигнал и код Баркера с изменением длительности времени импульсов. Показано, что выбор локационного сигнала определяет максимум достигаемой точности обнаружения неисправности: применение кода Баркера обеспечивает определение места повреждения с ошибкой 0,2% и уровнем сигнал/шум более 27 dB.

Ключевые слова: электролинии, место повреждения, локационный способ, код Баркера, ЛЧМ сигнал, одиночный импульс.

This article focuses on the application of time domain reflectometry method at different signal/noise ratio to solve the problems of fault location in branched electric power lines. It was developed a simulation model of the branched lines in Matlab. In the simulation model examines the relative error e of fault location by changing the signal-to-noise ratio (SNR) on the line and by simulating different types of faults. As sensing signals, it was used three simulation pulses: single pulse, chirp signal, Barker code with a time change of pulse duration. The results showed that the choice of the sensing signal determines the maximum achievable accuracy of fault diagnostics. Application of the Barker code provides high accuracy of determining the fault location with error $e=0,2\%$ and $SNR>27dB$.

Key words: fault location, power lines, modeling patterns, time domain reflectometry, Barker signal, chirp signal, single pulse signal.

Электротехника, 2019, №2, стр. 58-64

Применение статистических критериев распознавания режима в релейной защите сетей электроснабжения

КУЛИКОВ А.Л., ШАРЫГИН М.В.

Алгоритмы релейной защиты и автоматики (РЗА) сетей электроснабжения почти не изменились за прошедшие 100 лет, несмотря на прогресс аппаратной базы РЗА.

Перспективные системы электроснабжения будут содержать источники распределенной генерации, а также сложные многоконтурные электрические сети с многосторонним питанием. Существующая РЗА систем электроснабжения не сможет обеспечить функционирование таких сетей и их режимов из-за низкого быстродействия и чувствительности. Внедрение сложных РЗ сетей высокого напряжения вызовет недопустимое удорожание систем электроснабжения. Необходима разработка новых алгоритмов распознавания режимов электрической сети для перспективной

интеллектуальной РЗА систем электроснабжения. Новым и достаточно эффективным подходом построения алгоритмов РЗА является информационный подход, который основан на имитационном моделировании систем электроснабжения. Информационный подход позволяет учесть большое число параметров аварийных токов и напряжений для выявления повреждений. В статье предложено развитие перспективного направления информационного подхода – методов распознавания режима, формируемых согласно критериям принятия решения теории обнаружения – критериям Байеса, Неймана-Пирсона. Предложенный байесовский метод РЗ позволил на примере фидера электроснабжения увеличить вероятность распознавания КЗ в резервных зонах более чем в три раза, а вероятность замедленного отключения КЗ в основной зоне (на ступень селективности) снизить в два раза.

Ключевые слова: электроснабжение, многопараметрическая релейная защита, статистика, критерий отношения правдоподобия, уставка.

The algorithms for relay protection of the power supply network (under 35 kV) have not changed much in the past 100 years, despite the progress of the hardware base. Future power supply systems will contain sources of distributed generation, multi-circuit electrical networks. In such conditions, existing relay protection of power network often has insufficient sensitivity and speed. The relay protection of high voltage grid has very expensive. It is necessary to develop new algorithms for recognizing the regime of the electrical network for intelligent relay protection of power supply systems. A new and effective approach to constructing algorithms of relay protection is the information approach. The approach is based on simulation simulation of power supply systems. The approach allows to take into account a large number of parameters of currents and voltages for detecting short-circuit. In this paper proposes method of regime recognition, formed according to the criteria for the decision-making of detection theory – the Bayesian and Neumann-Pearson criteria. The method is the extension of an information approach. The proposed Bayesian method of relay protection made it possible to increase the probability of recognizing short circuit faults in the standby zones by more than three times for an example of the feeder bay, and to reduce the probability of a delayed trip of the fault in the main zone by half.

Key words: electric power supply, multi-parametric relay protection, statistics, likelihood ratio test, setting.

Оценка состояния изоляционной системы маслонаполненных высоковольтных трансформаторов

ЗЕНОВА Е.В., ЧЕРНЫШЕВ В.А.

Оценка состояния изоляционных промежутков в виде конкретных числовых значений позволит повысить эффективность обслуживания энергетического оборудования. В статье это состояние рассматривается как некоторый энергетический параметр, представляющий собой количество энергии, необходимой для перевода промежутка в состояние полного отказа или в состояние, при котором его дальнейшая эксплуатация становится невозможной. Совокупность электрофизических параметров изоляционного промежутка, значения которых соответствуют его состоянию, рассматриваются как частные функции, лежащие в основе формирования комплексного показателя, значение которого является количественной характеристикой состояния контролируемого изоляционного промежутка. Множество возможных механизмов старения, многозначность влияющих факторов, представление жизненного цикла трансформатора в виде последовательности этапов (фаз), каждый из которых характеризуется своим механизмом старения и видом дефекта, развивающегося в объеме изоляционного промежутка, определили сущность технологического процесса оценивания состояния, представленного в виде структурно-логической схемы.

Ключевые слова: силовые трансформаторы, изоляционный промежуток, оценивание состояния, электрофизические параметры, комплексный показатель состояния.

Assessment of the state of insulation gaps in the form of specific numerical values will improve the efficiency of energy equipment maintenance. In the article this state is considered as some energy parameter, which is the amount of energy needed to transfer the gap in the state of complete failure or in a state in which its further operation becomes impossible. A set of electrophysical parameters of the insulating gap, the values of which correspond to its state, are considered as particular functions that underlie the formation of a complex indicator, the value of which is a quantitative characteristic of the state of the controlled insulating gap. The set of possible aging mechanisms, the significance of influencing factors, the life cycle of the transformer in the form of a sequence of stages (phases), each of which is characterized by its aging mechanism and the type of defect that develops in the volume of the insulating gap, determined the essence of the technological process of assessing the state, presented in the form

of a structural and logical scheme.

Key words: power transformers, insulation gap, state estimation, electrophysical parameters, a complex index of state.

Электротехника, 2019, №2, стр. 73-77

Оценка точности определения места повреждения ЛЭП методом искусственного короткого замыкания

ГУРА Д.Н., КОРОЛЬКОВ А.Л., ПАСТОРОВ В.М., КОЖЕВНИКОВ В.М.

Функцией определения места повреждения (ОМП) ЛЭП снабжены фиксирующие приборы, большинство регистраторов аварийных событий и микропроцессорных терминалов защит, находящихся в операционной зоне Северокавказского диспетчерского управления. Представленный в статье анализ точности ОМП за 2015 г. показал наличие недопустимой погрешности в 48 случаях из 1528 срабатываний. Эти результаты обусловили проведение экспериментальных и теоретических работ по оценке точности ОМП ЛЭП приборами и программными комплексами отечественных и зарубежных производителей. Учитывая, что одним из наиболее распространенных видов повреждений ЛЭП являются короткие замыкания, при проведении натурных испытаний на ВЛ 330 кВ Владикавказ-2 – Грозный создавались искусственные однофазные КЗ, при этом сохранялась непрерывность электроснабжения потребителей. По результатам исследований установлено, что наименьшей погрешностью ОМП (менее 400 м) обладают приборы СМВЛ (ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» - СибНИИЭ), TWSFL8 (Qualitrol, Англия) и Бреслер-0107.090 (НПП Бреслер, Чебоксары), использующие двухсторонний волновой метод. Приборы и программные комплексы, основанные на измерении и анализе токов и напряжений нулевой последовательности, имеют минимум в три раза большую погрешность. Предложено создать в России независимый от производителей испытательный центр.

Ключевые слова: линия электропередачи, определение мест повреждений, натурные испытания.

Locking devices (LD), the most of emergency events and the microprocessor terminal are provided with the fault location function transmission lines protections and work in the operating zone of North Caucasian manager department. Here we introduce the accuracy analysis of the

fault location apparatus used in 2015, which has shown 48 unacceptable errors in 1528 operations. These results have identified the need for experimental and theoretical estimation studies the accuracy of fault location devices and software systems of domestic and foreign producers. As the short-circuit is one of the most common damage, an artificial single-phase short circuit was created in tested Vladikavkaz-2 - Grozny 330 kV transmission line continuing consumers power supply. This research found that the smallest error of fault location mass destruction (less than 400 m) has SMVL equipment (OJSC "RDC UES FGC" - SibNIE, Novosibirsk), TWSFL-8 (Qualitrol, Great Britain) and Bresler-0107.090 (NPP Bresler, Cheboksary), using double-sided travelling wave method. Devices and software systems based on currents analysis measurement and residual stresses have at least three times greater error. It is proposed to create in Russia an independent producers test center.

Key words: transmission line, fault location, full-scale tests.

Электротехника, 2019, №2, стр. 78-81

Совершенствование систем экстренного оповещения о чрезвычайных ситуациях на грунтовых плотинах

ЖАРНИЦКИЙ В.Я. АНДРЕЕВ Е.В., ЗАЙЦЕВ Ю.В.

Прорыв грунтовых плотин происходит всегда неожиданно и стихийно. При этом аварии и повреждения напорных грунтовых сооружений или отдельных их элементов вызваны не только неправильным выбором типа плотины или несоответствием их конкретным условиям работы, нарушениями или дефектами строительства, но и ошибками эксплуатации, что, естественно, может приводить к негативным последствиям. Когда аварии грунтовых плотин происходят стихийно, имеется очень малый запас времени для принятия решения об эвакуации населения. Поэтому для своевременного оповещения о чрезвычайной ситуации по-прежнему актуальны вопросы совершенствования и разработки современных систем оповещения в зоне затопления, где предлагается устанавливать информационные столбы, в нижней части которых будут располагаться датчики, а в верхней – антенна, передающая сигнал на пульт службы спасения. При затоплении датчика в цепи происходит короткое замыкание, сигнал от передающей антенны поступает на пульт дежурного. Дежурный анализирует полученные данные и если число столбов, сигнализирующих о затоплении, более трёх, то специалист службы спасения запускает сирену, которая отправляет сигнал по системе центрального вызова, и сирена в населённом пункте предупреждает об опасности затопления. В статье

рассмотрена система экстренного оповещения, состоящая из блока первичной сигнализации, располагаемого вблизи гидросооружения или возможного направления движения водного потока и блока вторичной сигнализации, располагаемого в населённом пункте на границе возможного движения волны прорыва, который через компьютерную информационную систему осуществляет рассылку SMS-сообщений об аварийной ситуации абонентам, зарегистрированным в зоне возможного затопления.

Ключевые слова: низконапорные грунтовые плотины, прорыв плотины, опасность затопления, система оповещения.

The break of soil dams happens always unexpectedly and spontaneously. At the same time accidents and damages of pressure head soil constructions or their separate elements are caused not only the wrong type selection of a dam or a mismatch to their specific conditions of operation, violations or defects of construction, but also maintenance errors that, naturally, can lead to negative consequences. When accidents of soil dams happen spontaneously, there is very small inventory of time for making decision on evacuation of the population. Therefore for timely annunciator about emergency situation still topical issues of enhancement and development of the modern warning systems in a flooding zone where it is offered to set information poles in which lower part sensors, and in upper the antenna transmitting a signal to the panel of service of rescue will settle down. When flooding the sensor in a circuit there is a short circuit, the signal from the transferring antenna arrives on the person on duty panel with number of a pole. The person on duty analyzes data retrieveds and if the quantity of the poles signaling about flooding exceeds more than three, then the specialist of service of rescue launches a siren which sends a signal on the system of the central call, and in the settlement the siren sound preventing of danger of flooding is heard. The developed system of the emergency enunciator consisting of the unit of primary signaling located close a hydroconstruction or the possible direction of movement of the water flow and the unit of a secondary signaling located in the settlement on boundary of possible movement of a wave of break which through a computer information system realizes mailing of sms about an alert condition to the subscribers registered in a zone of possible flooding is given in operation.

Key words: low-pressure groundwater dam, dam break, the risk of flooding, warning system.