

Особенности проектирования дугогасительной системы автоматического выключателя

ЕГОРОВ Е.Г., ЛУИЯ Н.Ю., АЛЕКСАНДРОВ Р.И., РОМАНОВ О.А., ПИЧУГИН В.Н.

Рассмотрен метод проектирования дугогасительной системы с деионной решеткой в автоматических выключателях переменного тока. За основу метода принято соотношение характеристик восстанавливающейся прочности и восстанавливающегося напряжения (ВН) для момента перехода тока дуги через нуль. При применении решетки дуга разбивается на ряд дуг, каждая из которых характеризуется сопротивлением частичных дуг. Суммарное активное сопротивление дуги существенно уменьшает амплитуду тока, уменьшает угол сдвига между током и напряжением, что уменьшает амплитуду восстанавливающегося напряжения и облегчает гашение дуги. Рассмотрены процессы гашения дуги в автоматическом выключателе в трехфазной цепи. Показано, что при погасании дуги в первом гасящем полюсе трехфазной цепи происходит деформация треугольника напряжений за счет сопротивления дуг в двух других полюсах. При проектировании автоматического выключателя рекомендовано принимать уменьшенный коэффициент схемы (1,1–1,3 вместо 1,5). Это позволяет при проектировании дугогасительной камеры принять облегченные конструктивные решения (число и толщину дугогасительных пластин и расстояние между ними), объективно оценить отключающую способность автоматического выключателя, оптимизировать параметры дугогасительной системы.

Ключевые слова: автоматический выключатель, восстанавливающаяся прочность, восстанавливающееся напряжение, короткое замыкание, отключающая способность, дугогасительная система.

The method of design of the arc-extinguishing system with deionic lattice in automatic switches of alternating current is considered. The basis of the design method is the ratio of the characteristics of restoring strength and restoring voltage for the moment the arc current passes through zero. When a grating is applied, the arc is divided into a series of arcs, each of which is characterized by the resistance of these partial arcs. The total resistance of the arc significantly reduces the amplitude of the current, reduces the shear angle between the current and voltage, which reduces the amplitude of the return voltage and facilitates the damping of the arc. The article describes the processes of arc extinction in a circuit breaker in a three-phase circuit. It is shown that when extinguishing the arc in the first quenching pole of the three-phase circuit, the stress triangle deforms due to the resistance of the arcs in the other two poles. In the design

calculation of the circuit breaker, it is recommended to accept a reduced ratio of 1,1–1,3 instead of 1,5. This allows for the design of an arc-suppressing chamber to make more simplified design decisions (the number and thickness of arc-suppressing plates, the distance between the plates), to objectively evaluate the breaking capacity of the automatic switch, to optimize the parameters of the arc-suppression system.

Key words: automatic switch, restoring strength, restoring voltage, short circuit, breaking capacity, arcing-suppressing system.

Электротехника, 2019, №8, стр. 7-10

Клапанная магнитная система с повышенной чувствительностью срабатывания максимального расцепителя тока

ЗАЙЦЕВ Н.Ю., МАКСИМОВ В.М., ПЕТРОВ В.Н., СВИНЦОВ Г.П., СОРОКИН Н.Н.

В системах управления и распределения электрической энергии для защиты от отрицательного воздействия токов короткого замыкания широкое распространение получили электромагнитные максимальные расцепители тока. Они должны обеспечивать высокое быстродействие при отключении электрической цепи в аварийных режимах. Это может быть достигнуто при малой массе подвижного элемента и существенных значениях электромагнитной силы. С целью приближенного определения характеристик по-прежнему широко применяются методы теории цепей. При упрощении структуры модели магнитного поля проводимость воздушных промежутков между ферромагнитными элементами магнитной системы может быть определена с приемлемой точностью модифицированным методом вероятных путей магнитного потока.

Ключевые слова: автоматический выключатель, магнитная система, короткое замыкание, максимальный расцепитель тока, модифицированный метод вероятных путей потока.

Widespread among electromagnetic devices in control systems and distribution of electrical energy to protect against the negative effects of short-circuit currents received electromagnetic overcurrent release. They must provide high speed when the electrical circuit is disconnected in emergency mode. This can be achieved with a small mass of the moving element and significant values of the electromagnetic force. For the purpose of approximate determination of characteristics, methods of the theory of chains are still widely used. By simplifying the structure of the magnetic field model, the conductivity of the air gaps between the ferromagnetic elements of the magnetic system can be determined with acceptable accuracy by a modified method of

probable paths of magnetic flux.

Key words: circuit breaker, magnetic systems, short circuit, overcurrent release, modified method of probable paths of magnetic flux.

Электротехника, 2019, №8, стр. 10-14

К расчету усилий в контактном устройстве с электродинамической компенсацией
ЗАЙЦЕВ Н.Ю., ЗАЙЦЕВ Ю.М., КАДЫШЕВ Е.Н., НИКОЛАЕВ Н.Н., НИКОЛАЕВ С.Г.

Компенсаторы электродинамических усилий отталкивания электрических контактов обеспечивают устойчивую работу автоматических выключателей при протекании токов короткого замыкания. В статье рассмотрено контактное устройство с электродинамической компенсацией и его расчетная модель. Электродинамически взаимодействующими деталями конструкции компенсатора являются расположенные параллельно друг к другу U-образные концы токоведущей шины вывода и малоподвижные контакты. Приведена формула для расчета электродинамического усилия отталкивания электрических контактов. На основе расчетной модели получены формулы для электродинамического усилия компенсатора, а также выведены выражения для коэффициента контура электродинамических усилий компенсатора. Получено условие полной компенсации электродинамического усилия отталкивания контактов. Выполнены расчеты электродинамического усилия компенсатора выключателя на номинальный ток 630 А с номинальным кратковременно выдерживаемым током 40 кА. Компенсатор с предложенной конфигурацией полностью компенсирует электродинамическое усилие отталкивания контактов выключателя, что подтверждает обоснованность полученных расчетных соотношений.

Ключевые слова: автоматический выключатель, электродинамическое усилие, электродинамический компенсатор, малоподвижный контакт, подвижный контакт, коэффициент контура.

Compensators of electrodynamic forces of repulsion of electrical contacts ensure stable operation of automatic switches during the flow of short-circuit currents. The article presents a contact device with electrodynamic compensation and its design model. Electrodynamically interacting parts of the compensator design are U-shaped, bent ends of the current-carrying output busbar and slow-moving contacts parallel to each other. The formula for calculating the electrodynamic

force of repulsion of electrical contacts is given. Based on the calculation model, the calculated formulas for the electrodynamic effort of the compensator are obtained, and expressions for the coefficient of the contour of the electrodynamic forces of the compensator are derived. The condition of complete compensation of the electrodynamic force of repulsion of contacts is presented. Calculations of the electrodynamic effort of the switch compensator for a rated current of 630 A with a rated short-time withstand current of 40 kA are performed. The compensator with the proposed configuration fully compensates for the electrodynamic repulsive force of the switch contacts, which confirms the validity of the calculated relations obtained in the work.

Key words: circuit breaker, electrodynamic force, electrodynamic compensator, sedentary contact, moving contact, contour factor.

Электротехника, 2019, №8, стр. 15-21

Теоретические основы интеллектуального АПВ протяженных ЛЭП с шунтирующими реакторами

ИВАНОВ Н.Г., НАУМОВ В.А., АНТОНОВ В.И., КАДЫШЕВ Е.Н.

Одним из эффективных методов предотвращения опасных коммутационных перенапряжений, возникающих в цикле автоматического повторного включения (АПВ) протяженных ЛЭП сверхвысокого напряжения, является интеллектуальное АПВ. Основу метода составляет выбор момента повторного включения линии, оптимального для снижения интенсивности переходного процесса. В статье исследуются основные закономерности протекания переходных процессов в цикле АПВ и анализируются различные методы интеллектуального АПВ. Для анализа используются принцип наложения и предложенная универсальная модель электрической сети, описывающая процессы на всех этапах цикла АПВ. Показывается, что интенсивность свободного процесса при АПВ напрямую зависит от соотношения напряжений питающей системы и линии в момент повторного включения. Показано, что уменьшения уровня перенапряжений можно добиться благодаря включению линии в момент перехода напряжения на контактах выключателя через нуль, или в точке минимума огибающей этого напряжения, но эффективным является интеллектуальное АПВ, совмещающее в себе оба подхода и осуществляющее повторное включение в момент перехода напряжения через нуль вблизи минимума огибающей. Вычислительные эксперименты подтверждают, что решающее влияние на уровень перенапряжений при АПВ оказывает именно момент

повторного включения, а влияние степени компенсации зарядной мощности и угла передачи не столь существенно.

Ключевые слова: линия электропередачи, автоматическое повторное включение, коммутационные перенапряжения, управляемая коммутация.

One of the effective methods to prevent dangerous switching overvoltage during auto-reclosing of ultra-high voltage transmission lines is intelligent auto-reclosing. The method based on reduction of transient process by choice of optimal line energizing moment. The main regularities of transients during auto-reclosing cycle and various methods of intelligent auto-reclosing are analyzed. The superposition theorem and universal electrical network model are used for analysis of transition process in all stages of auto-reclosing cycle. It is shown that intensity of transient process during auto-reclosing is directly dependent on the relations between source and line voltages at reclosing moment. A mitigation of overvoltage can be achieved by reclosing at moment of breaker voltage zero-crossing and at moment when breaker voltage envelope reaches a minimum. But the most efficient is an intelligent auto-reclosing combining two approaches, and reclosing at moment of breaker voltage zero-crossing near minimum of voltage envelope. Computational experiments confirmed that reclosing moment has decisive importance on overvoltage level, and that influence of compensation degree and transmission angle is not significant.

Key words: transmission line, automatic reclosing of transmission line, switching overvoltage, controlled switching.

Электротехника, 2019, №8, стр. 22-25

Синхронная машина с аномальными параметрами демпферной обмотки

АФАНАСЬЕВ А.А., АФАНАСЬЕВ А.Ю.

При эксплуатации синхронных явнополюсных машин могут возникать неисправности демпферной обмотки, вызванные электромеханическими и тепловыми воздействиями на её элементы при внезапных КЗ обмотки статора, при частых пусках в двигательном режиме, при несимметрии трёхфазного напряжения. Эти воздействия могут приводить к нарушению контактов стержней демпферной обмотки с её короткозамыкающими кольцами и разрушению элементов самих колец. Эти дефекты в заметной форме могут проявить себя только в переходных, асинхронных и несимметричных режимах. На базе двухмерной аналитической модели синхронной явнополюсной машины в координатах d , q

анализируются токи в стержнях и электромагнитный момент в асинхронном режиме машины при обрыве стержней и межполюсных перемычек у одного или двух полюсов демпферной обмотки. Сделан вывод, что наиболее опасным видом аномалии демпферной обмотки являются обрывы её межполюсных перемычек у одного или двух полюсов, при которых возникают большие токи в стержнях, когда электромагнитный момент в десятки раз превышает номинальный уровень.

Ключевые слова: синхронная явнополюсная машина, математическая модель, демпферная обмотка, обрыв стержней и короткозамкнутого кольца, токи в стержнях, электромагнитный момент.

In operation of salient pole synchronous machines may malfunction damper winding, caused by Electromechanical and thermal effects on the elements at sudden short circuits of the stator winding, with frequent launches in the motoring mode, when the unbalance three-phase voltage. These effects can lead to disruption of the contacts of the damper winding rods with its short-circuiting rings and to the destruction of the elements of the rings themselves. These defects in a noticeable form can manifest themselves only in transient, asynchronous and asymmetric modes. On the basis of two-dimensional analytical model of salient pole synchronous machine in the coordinate d, q analyzed the currents in the rods and the electromagnetic torque in an asynchronous machine mode in the presence of breakage of the rods and the interpolar bridges of one or two poles of the damper winding. It is concluded that the most dangerous type of the damper winding anomaly is the breakage of its inter-pole jumpers at one or two poles, at which there are large currents in the rods and the electromagnetic torque is ten times higher than its nominal level.

Key words: salient pole synchronous machines, mathematical model, damper winding, open circuit terminals and short-circuited ring currents in terminals, electromagnetic torque.

Электротехника, 2019, №8, стр.26-31

Анализ резонансного преобразователя постоянного напряжения типа LCL-T методом основной гармоники

БЕЛОВ Г.А., МАЛИНИН Г.В., МЕЛЕШИН В.И., СЕМЕНОВ Ю.М.

На основе линейной эквивалентной схемы преобразователя постоянного напряжения (ППН), обоснованной в предположении синусоидальности тока на выходе инвертора,

методом основной гармоники получены приближенные выражения для расчета токов на выходе инвертора, входе выходного выпрямителя, КПД и нагрузочных характеристик ППН. Дано сравнение характеристик ППН, полученных теоретически с учетом и без учета активных сопротивлений LC-контура, а также с характеристиками, полученными на имитационной Simulink-модели. Показано, что расчеты методом основной гармоники дают удовлетворительные результаты при реальных значениях параметров резонансного ППН типа LCL-T. Полученные соотношения позволяют выявить особенности ППН этого типа, а при сравнении с результатами имитационного моделирования – оценить возможные погрешности метода, обусловленные, в основном, некоторой несинусоидальностью тока, потребляемого от инверторного моста.

Ключевые слова: резонансный преобразователь постоянного напряжения типа LCL-T, метод основной гармоники, амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики, имитационная Simulink-модель.

Based on the linear equivalent circuit of the DC-DC converter, grounded on the assumption that the current is sinusoidal at the inverter output, approximate expressions for the fundamental harmonic method for calculating currents at the inverter output, input rectifier input, efficiency and load characteristics of the DC-DC converter were obtained. A comparison of the DC-DC converter characteristics, obtained theoretically taking into account and without taking into account active resistances of the LC circuit is given, as well as with those obtained with a simulated Simulink-model. Calculations give satisfactory results with real values of the resonant DC-voltage converter type LCL-T parameters. The analytical relations make it possible to identify features of a DC-DC converter type. When comparing with the results of simulation modeling, the obtained results allow to estimate the possible errors of the method, mainly due to some non-sinusoidal current drawn from the inverter bridge.

Key words: LCL-T-type resonant DC-DC converter, phase control, fundamental harmonic method, amplitude-frequency and phase-frequency characteristics, simulated Simulink-model.

Электротехника, 2019, №8, стр. 31-34

Метод разомкнутой цепи для контроля гистерезисных параметров редкоземельных постоянных магнитов

НЕСТЕРИН В.А., ГЕНИН В.С., ГАЛАНИНА Н.А. НЕСТЕРИН А.В.

Рассмотрены особенности применения метода разомкнутой цепи и перспективы создания технологического оборудования для контроля гистерезисных параметров постоянных магнитов из высококоэрцитивных магнитотвердых материалов на образцах сложной формы в импульсном магнитном поле. Показаны преимущества метода разомкнутой магнитной цепи и проблемы, возникающие при разработке технологического оборудования. На основе анализа зарубежных и отечественных публикаций сделан вывод о перспективности направления. Приводятся сведения о конструктивных особенностях, характеристики разработанного оборудования для технологического контроля постоянных магнитов из магнитотвердых материалов.

Ключевые слова: постоянный магнит, редкоземельные материалы, коэрцитивная сила, коэрцитиметр, магнитная цепь.

The features of the application of the open-circuit method and the prospects of creating technological equipment for monitoring the hysteresis parameters of permanent magnets from highly coercive magnetically hard materials on samples of complex shape in a pulsed magnetic field are considered. The advantages of the open magnetic circuit method and the problems arising in the development of process equipment are shown. Based on the analysis of foreign and domestic publications, it was concluded that the direction is promising. Provides information about the design features, the characteristics of the developed equipment for the technological control of permanent magnets made of hard magnetic materials.

Key words: permanent magnet, rare earth materials, coercive force, coercimeter, magnetic circuit.

Электротехника, 2019, №8, стр. 35-40

Применение дуальных схем для моделирования электромагнитных процессов в каскадных трансформаторах отбора мощности

ЖУЙКОВ А.В., КУБАТКИН М.А., ЛАРИН В.С., МАТВЕЕВ Д.А., НИКУЛОВ И.И.

Рассмотрены научные и методические основы разработки расчетных моделей нового оборудования – трансформаторов отбора мощности – для использования в проектных расчетах. Рассмотренные модели относятся к классу моделей «белого ящика», обеспечивающих наибольшую точность при решении таких задач. В основе моделей использованы схемы замещения активных частей, полученные применением принципа

дуальности магнитных и электрических цепей. Показано, что определение параметров и верификация моделей возможна только на заводе-изготовителе трансформаторов. Отдельное внимание уделено воспроизведению в моделях процессов намагничивания трансформаторов. Приведены экспериментальные осциллограммы токов намагничивания магнитопроводов активных частей и трансформаторов в сборе, свидетельствующие о существенном влиянии емкостей обмотки высшего напряжения на ток холостого хода. Приведен алгоритм определения параметров модели трансформатора для расчета установившихся режимов, дающий хорошее совпадение с экспериментом для интегральных параметров, таких как мощность потерь и действующее значение тока намагничивания.

Ключевые слова: трансформатор отбора мощности, каскадный трансформатор, принцип дуальности магнитных и электрических цепей, численное моделирование.

This paper deals with scientific and methodological basis of the development of the new transformer equipment – station service voltage transformers – numerical models for application at the electrical grid design stage. The models discussed are the “white-box” models which provide the highest accuracy in such problems solution. In the basis of the models there are equivalent circuits of active parts which are acquired by using the duality between magnetic and electric circuits. It is shown that the parameters determination and models verification are possible only at the transformer manufacture plants. Much attention is paid to transformer magnetizing process modelling. Experimental oscillograms of active parts magnetic systems magnetizing current are shown and they point out to strong influence of HV winding capacitance on no-load current. The algorithm for determination of transformer parameters for steady state simulation is presented which provides a good concurrence with experimental values of integral parameters such as power losses and RMS value of magnetizing current.

Key words: station service voltage transformer, transformer windings, winding resonant frequencies, winding natural frequencies, switching overvoltages, resonant overvoltages.

Электротехника, 2019, №8, стр. 40-46

Расчетно-экспериментальная оценка напряжений на продольной изоляции обмоток трансформаторов отбора мощности при резонансных перенапряжениях

ЛАРИН В.С., МАТВЕЕВ Д.А.

При высокочастотных колебаниях напряжения в сети возможно развитие резонансных перенапряжений внутри обмоток трансформаторов, если частоты колебаний напряжения близки к резонансным частотам обмоток трансформаторов. Для обеспечения стойкости к внутренним резонансам трансформаторного оборудования, которое по специфике своей работы может подвергаться воздействию высокочастотных колебательных напряжений, в частности, трансформаторов отбора мощности, требуется на стадии проектирования определить воздействия на внутреннюю изоляцию их обмоток в условиях резонанса. Модели трансформаторов, применяемые на практике для численного моделирования высокочастотных переходных процессов в обмотках, из-за отсутствия в них строгого учета частотной зависимости потерь, не позволяют точно воспроизвести резонансные повышения напряжения в обмотках. Альтернативой расчетам являются непосредственные измерения напряжений в обмотках в условиях резонанса, но на практике такие измерения затруднены, и не всегда позволяют измерить напряжения, воздействующие на изоляцию в интересующих частях обмотки. В статье рассмотрена возможность определения воздействий на продольную изоляцию обмоток в условиях резонанса путем дополнения измерений аналитическими решениями уравнений переходных процессов в обмотках. Рассмотренные подходы применимы не только к трансформаторам отбора мощности, но и к другим типам трансформаторного оборудования.

Ключевые слова: трансформаторы отбора мощности, обмотки трансформаторов, резонансные частоты обмоток, собственные частоты колебаний, коммутационные перенапряжения, резонансные перенапряжения.

During high-frequency oscillations of the grid voltage it is possible for resonant overvoltages inside the transformer windings to develop in the case when the frequencies of the grid voltage oscillations are close to resonant frequencies of the transformer windings. For the transformer equipment which may be subjected to high-frequency oscillatory voltages due to the specifics of their operation, particularly for station service voltage transformers, to withstand internal resonance it is necessary at the design stage to determine possible internal insulation stresses at the resonant state. Transformer models applied in practice of numerical simulations of the high-frequency transients in transformer windings don't allow to represent resonant voltage rises in windings accurately due to the absence of the rigorous account of the losses frequency dependence. The alternative to the calculations are direct measurements of the winding voltages in the resonant state, but in practice such measurements are difficult and it is not always possible to measure voltages affecting insulation at the winding parts of interest. In this paper the problem

of resonant longitudinal insulation stresses determination by means of addition of windings transient equations analytical solution to the results of measurements is addressed. Approaches described in this paper are applicable not only to station service voltage transformers but also to other types of transformer equipment.

Key words: station service voltage transformers, transformer windings, winding resonant frequencies, winding natural frequencies, switching overvoltages, resonant overvoltages.

Электротехника, 2019, №8, стр. 46-53

К определению индуктивностей рассеяния обмоток трансформаторов

ЖУЙКОВ А.В., КУБАТКИН М.А., ЛАРИН В.С., МАТВЕЕВ Д.А., НИКУЛОВ И.И.

При проектировании конструкции трансформаторов и их численном моделировании требуется расчет параметров схем замещения. Одним из важнейших параметров является индуктивность рассеяния двух обмоток или их частей, расчет которой может быть сравнительно легко выполнен только для простых случаев равновысоких обмоток. Для более сложных конфигураций необходимо применять специальные методы, которые разработаны преимущественно для расчета индуктивностей рассеяния мощных силовых трансформаторов. Среди них можно выделить метод среднегеометрических расстояний, методы, основанные на аналитическом решении уравнений Максвелла в двухмерной осесимметричной постановке, и численный метод конечных элементов. В статье эти методы применяются для расчета индуктивностей рассеяния небольших трансформаторов с конфигурацией обмоток, характерной для трансформаторов напряжения индуктивного типа и трансформаторов отбора мощности. Точность методов оценивается путем сопоставления результатов расчета с экспериментом. Приведено описание экспериментальной установки, дана общая характеристика расчетных методов и проанализированы результаты сопоставления расчетных и экспериментальных значений индуктивностей рассеяния.

Ключевые слова: трансформаторы напряжения, трансформаторы отбора мощности, индуктивности рассеяния, метод среднегеометрических расстояний, метод конечных элементов, метод Бунина-Конторовича.

When designing and numerical modeling of transformers, the calculation of the equivalent circuit parameters is required. One of the most important parameters is the leakage inductance of

two windings or of their parts, the calculation of which can be relatively easily performed only for simple cases of equally high windings. For more complex configurations, it is necessary to apply special methods, which are developed primarily for calculating the leakage inductances of large power transformers. Among these methods we distinguish the method of geometric mean distances, methods based on the analytical solution of Maxwell's equations in a two-dimensional axisymmetric formulation, and the numerical finite elements method. In the paper, these methods are used to calculate the leakage inductances of small transformers with winding configurations typical to inductive voltage transformers and station service voltage transformers. The accuracy of the methods is estimated by comparing the calculation results with the experiment. A description of the experimental setup and the calculation methods is given, and the results of the comparison of the calculated and experimental values of the leakage inductances are analyzed.

Key words: voltage transformers, station service voltage transformers, leakage inductances, method of geometric mean distances, finite element method, Bunin-Kontorovich method.

Электротехника, 2019, №8, стр. 53-59

Исследование характеристик двухпроводных высоковольтных кабелей для электротехнических комплексов повышенной частоты

ГУСЕНКОВ А.В., ЛЕБЕДЕВ В.Д., СОКОЛОВ А.М., ШАДРИКОВ Т.Е., ТАНКОЙ А., ДЬЯЧКОВ А.А.

Достигнутые результаты разработки и применения электротехнических комплексов повышенной частоты для систем промышленного электропитания электротехнологических установок на основе кабеля КВСП-М могут быть улучшены путем применения в их составе кабельных линий других типов. Целесообразно рассмотреть возможность использования двухпроводных экранированных кабелей. Такие кабели широко известны в системах электропитания судовых и речных плавучих средств, буровых установках. Однако сведения о параметрах этих кабельных линий скудны и достаточно противоречивы. Для восполнения пробела в этих сведениях разработана и представлена инженерная методика расчета погонной емкости таких кабельных линий, основанная на известном методе расчета электрических полей – методе эквивалентных зарядов. Получено хорошее согласование результатов расчета этого параметра и измерения его значения для конкретных конструкций таких кабельных линий, подтверждающее достоверность предложенной методики. Выполнена оценка влияния конструктивных параметров двухпроводной кабельной линии в металлическом экране на

погонные емкость и индуктивность, а также волновое сопротивление такой линии. Полученные результаты необходимы для расчета установившихся режимов работы высоковольтных электротехнических комплексов повышенной частоты при их использовании в системах электроснабжения технологического оборудования.

Ключевые слова: высоковольтная кабельная линия, транзисторный преобразователь напряжения, повышенная частота, емкость и индуктивность кабеля, волновое сопротивление линии.

Results of the development and application of increased frequency electrical complexes for industrial power systems of electrotechnological installations based on the cable KVSP-M archived and might be improved by using other cable types together. It is advisable to consider using of two-wire shielded cables. Such cables are widely known in power systems of ship and river vessels, drilling rigs. However, the information on the parameters of these cable lines is scant and contradictory. In order to overcome the knowledge gap, an engineering method for calculating the linear capacitance of such cable lines is developed and presented, based on the known method of calculating electric fields – the method of equivalent charges. Good agreement has been obtained between the results of calculating this parameter and measuring its value for specific designs of such cable lines, confirming the reliability of the proposed methodology. The effect of the design parameters of a two-wire cable line in a metal screen on the linear capacitance and inductance, as well as the wave resistance of such a line, was estimated. The results obtained are necessary for calculating the steady-state operating modes of high-voltage electrical complexes of increased frequency when used in power supply systems for process equipment.

Key words: high-voltage cable line, voltage converter, increased frequency, cable capacitance and inductance, line wave resistance.

Электротехника, 2019, №8, стр. 60-67

Исследование работоспособности реактора РЖФА-6500 в составе Г-образного фильтрующего устройства тяговой подстанции постоянного тока

ЛОБЫНЦЕВ В.В., ДУРАКОВ Д.Н., БАДЁР М.П., УСТИНОВ В.С.

Выполнен ввод в эксплуатацию двух блоков реактора РЖФА-6500 в цепь возврата тягового тока подстанции «Углерод» Западно-Сибирской железной дороги при

последовательном включении с реактором РБФА-У-6500/3250 в состав резонансно-апериодического Г-образного фильтрующего устройства. Перед монтажом реактора нового типа выполнены измерения его индуктивности методом амперметра-вольтметра при переменном токе. Контроль угла сдвига фаз между током и падением напряжения на реакторе РЖФА-6500 не выполнялся. Для проверки работоспособности реактора нового типа и анализа эффективности его работы выполнена серия экспериментов в штатном и аварийном режимах работы системы тягового электроснабжения постоянного тока. Проведен опыт принудительного короткого замыкания без остановки движения электроподвижного состава по участку. Синхронно сняты осциллограммы на фидере контактной сети и в цепи возврата тягового тока при отключении быстродействующего выключателя. Выполнен сравнительный анализ гармонического состава в падениях напряжения на реакторах двух типов. Построены амплитудно-частотные характеристики тягового тока для различных эксплуатационных режимов тяговой подстанции «Углерод». Разработан и апробирован метод расчета индуктивности реактора РЖФА-6500 на основании снятых осциллограмм в штатных и аварийных режимах работы системы тягового электроснабжения. Предложена универсальная формула расчёта индуктивности с учетом угла сдвига фаз между током и падением напряжения на реакторе при проведении измерений методом амперметра-вольтметра.

Ключевые слова: тяговая подстанция, реактор сглаживающего фильтрующего устройства, переходные процессы, принудительное короткое замыкание, амплитудно-частотная характеристика.

Two units of the new type filter-reactor was connect in series with old type filter-reactor and were put in operation together in L-shaped filter device at the DC traction power station «Uglerod» of the West Siberian Railway. The parameters of the new type filter-reactor were evaluated. The phase angle control for the new type reactor is not performed. A series of experiments was conducted in the regular and emergency operation mode of the DC traction power supply system. The experience of compulsory short circuit is completed without stopping the movement of the electric vehicle over the section. Shot circuit oscillograms to catenary feeder and traction current reverse feeder when disconnected rapid circuit breaker. A comparative analysis of the harmonic content of the voltage drops across the two types of reactors. Amplitude-frequency characteristics of the traction current and drop voltage on each reactors at the normal operation mode of the DC traction power substation «Uglerod» is plotted. It developed and tested method for calculating the new type reactor inductance parameter based on the captured waveforms in

standard and emergency operation modes of the traction power supply system. A universal inductance calculation mathematical expression into account the phase angle between current and drop voltage on the reactor in measurement by the ammeter-voltmeter method is taking.

Key words: traction power substation, filter reactor, transitional processes, forced short circuit, arc.

Электротехника, 2019, №8, стр. 68-6

Авторы номера