

Электричество, 2015, № 12, с. 4–12.

Проблемы расчета структурной надежности систем электроснабжения с использованием метода вероятностного эквивалентирования

ОБОСКАЛОВ В. П.

Рассматривается проблема расчета показателей структурной надежности (ПСН) системы электроснабжения (СЭС) с отказами элементов типа «обрыв». Показано, что основной причиной отличия ПСН, определяемых существующими программными комплексами, является неоднозначность принимаемых систем допущений и ограничений. В качестве основной расчетной схемы принимается электрическая схема СЭС с минимальными добавками для учета специфических состояний системы. С целью адекватного учета направления потоков мощности в электрической сети некоторые элементы (понижающие трансформаторы, выключатели с АВР и др.) представляются направленными с отличающимися в зависимости от направления потока мощности показателями надежности. Преимущественно рассматривается параллельный принцип расчета ПСН в виде двухэтапного процесса «исключение–восстановление узлов». Обсуждаются процедуры вероятностного эквивалентирования фрагментов расчетных схем на отдельных этапах расчетного процесса. Показано, что наиболее значимым является принцип расчета надежности электрически последовательных элементов. Предлагается в качестве основного при расчете последовательных структур использовать метод «-преобразований». При расчете надежности больших СЭС не рекомендуется использовать вероятностные преобразования, основанные на методе декомпозиции, поскольку они не гарантируют адекватного окончания расчетного процесса. Показано, что на этапе восстановления узлов ранга 2 можно не учитывать непосредственную связь между смежными узлами. Вызванные отказами в системе внешнего электроснабжения совместные отказы узлов предлагается учитывать с помощью матрицы одновременных отказов, формируемой на этапе восстановления узлов. Учет одновременных отказов через показатели надежности узла питания позволяет компенсировать систематическую погрешность метода «ромб-эквивалентирования».

Ключевые слова: системы электроснабжения, структурная надежность, вероятностное эквивалентирование, показатели надежности

This paper considers calculation of structural reliability indices (SRI) for electrical power system (EPS), when «cutoff» failures are taken into account. It shows that existing software solutions provide diverse results due to different constraints and assumptions. Calculations presented in this paper, are based on typical EPS equivalent circuit data with minor additions aimed to account for specific EPS states. In fact, certain EPS elements (such as step down transformers, circuit breaker based automatic transfer switches, etc.) are considered as directional elements, in order to account for power flow direction. As a result, these elements have diverse SRI in upward and downward directions. The paper primarily assumes a parallel SRI calculation approach, which is based on two-stage EPS node «exclusion-restoration» process. Stochastic network reduction (SNR) technique is considered for certain stages of the calculation process. The paper shows that sequential SRI calculation technique has the largest impact on the resulting SRI. It proposes to use «-transformation» technique for SRI calculation of sequential elements. Decomposition-based SNR techniques are not recommended for SRI calculations of meshed EPS, because they can not ensure adequate result. In addition, the paper shows that direct connection between adjacent nodes at the «restoration» stage of the calculation process can be ignored for nodes of rank 2. Moreover, it proposes simultaneous failure matrix in order to account for simultaneous node failures caused by external power supply failures. The matrix

forms at the «restoration» stage of the calculation process. It compensates fixed error of the «rhombus» network reduction technique.

Key words: power supply systems, structural reliability, probabilistic equivalenting, reliability indices

Электричество, 2015, №12, с.13–19.

Централизованная система управления уровнями напряжения в сетях 110–220 кВ Кубанской энергосистемы

ГВОЗДЕВ Д.Б., ХОЛОПОВ С.С.,

Рассматривается возможность практической реализации системы централизованного управления уровнями напряжения в сетях 110–220 кВ Кубанской энергосистемы, что позволит снизить нагрузку диспетчерского персонала. Проведен последовательный расчет режимов и проанализирована эффективность применения централизованного управления напряжением на примере тестовой сети 110–220 кВ, а также в Кубанской энергосистеме. Сформированы требования к архитектуре системы, к составу необходимой информации, каналам связи и программному обеспечению. Выбор Кубанской энергосистемы как экспериментальной сети обоснован наличием в регионе современных средств регулирования режима (напряжения и реактивной мощности). Показана зависимость эффекта централизованного управления исполнительными устройствами от загруженности сети. Отмечен эффект повышения потерь активной мощности при слабой загрузке электрической сети в часы ночного минимума нагрузок из-за устранения системой регулирования нарушений уровней напряжений.

Ключевые слова: энергосистема, управление напряжением, потери активной мощности, диспетчерское управление, автоматизированные системы

The possibility of practically implementing a system for centralized control of voltage levels in the 110–220 kV networks of the Kuban power system is considered, the use of which will make it possible to decrease the burden imposed on the power system dispatch control operators. A sequential calculation of operating modes is carried out, and the effectiveness of using centralized control of voltage is analyzed taking a test 110–220 kV network as an example, as well as in application to the Kuban power system. Requirements for the system architecture, for the scope of necessary information, for the communication channels, and for the software are formulated. The Kuban power system was chosen as the experimental network due to the fact that modern facilities for controlling the operating mode (voltage and reactive power) are available in this region. It is shown that the effect obtained from centralized control of actuators depends on the network loading. It is pointed out that the active power losses in the network tend to increase during low electric network load in the hours of night minimum as a result of control system operation on removing deviations of voltage levels.

Key words: power system, voltage control, active power losses, supervisory control, automated systems

Электричество, 2015, №12, с.20–25.

Резонансные перенапряжения в обмотках трансформаторов. Ч.2. Определение резонансных частот обмоток

ЛАРИН В.С., ВОЛКОВ А.Ю.

При анализе резонансных перенапряжений в обмотках трансформаторов определение резонансных частот этих обмоток является одним из ключевых вопросов. Рассмотрены

подходы к оценке резонансных частот по аналитическим формулам с помощью математического моделирования, а также экспериментального определения путем измерений частотных характеристик обмоток. Рассмотрены вопросы применения частотного анализа реакции обмоток к определению резонансных частот и выделению в частотном спектре собственных частот колебаний обмотки.

Ключевые слова: трансформаторы, обмотки, резонансные перенапряжения, колебания обмоток, частотный анализ

In the analysis of resonance overvoltages in transformer windings the determination of the resonant frequencies of these windings is one of the key issues. The article describes the approaches to the estimation of the resonant frequencies by analytical formulas and with the help of mathematical modeling and experimental determination by measuring of frequency characteristics of the windings. Application of frequency response analysis of the windings to the determination of the resonance frequencies and the identification of the winding self frequencies in the frequency spectrum are considered..

Key words: transformers windings, resonance overvoltages, winding oscillation frequencies, frequency analysis

Электричество, 2015, №12, с.26–30.

Комбинированный волоконно-оптический трансформатор напряжения и тока для цифровых измерительных систем

СОКОЛОВСКИЙ А.А., ОТЧЕРЦОВ А.В., МОИСЕЕВ В.В., РУДАКОВ О.В., КУРОВИЧ П.Н.

Приводятся результаты разработки комбинированного оптоэлектронного трансформатора тока и напряжения (КТТН), выполненного на одной изоляционной колонне. Отличительной особенностью разработанного устройства, применяемого для систем учета электроэнергии, является синхронизация измерений в каналах тока и напряжения импульсом, передаваемым по системе оптического питания. Предлагаемая конструкция позволяет снизить стоимость измерительной системы, упростить ее монтаж и обслуживание. Разработанный КТТН обеспечивает измерение напряжения с классом точности 0,2, тока с классом точности 0,2S, выдачу измерительной информации по протоколу МЭК 61850 – 9,2LE, отличается компактными размерами и может найти применение при построении цифровых подстанций напряжения 110 кВ.

Ключевые слова: учет электроэнергии, оптоэлектронный трансформатор тока и напряжения, одноколонная конструкция, цифровая подстанция

The article presents the results from development of a combined optoelectronic current and voltage transformer (CCVT) mounted on a common insulation column. A distinguishing feature of the developed device, which is used for electric energy accounting systems, is that the measurements carried out in the current and voltage channels are synchronized by an impulse transmitted via an optical power supply system. By using the proposed CCVT design it becomes possible to decrease the measurement system cost and to simplify its assembling and maintenance [1]. The developed CCVT makes it possible to measure voltage and current in compliance with accuracy classes 0,2 and 0.2S, respectively, and to produce the measurement information according to the IEC 61850–9.2LE protocol; the device has compact sizes and can find use in designing digital substations for the 110 kV voltage rating.

Key words: electric energy accounting, optoelectronic current and voltage transformer, single column design, digital substation

Электричество, 2015, №12, с.31–37.

Сравнение показателей усредненной индивидуальной надежности оборудования электроэнергетических систем

ФАРХАДЗАДЕ Э.М., ФАРЗАЛИЕВ Ю.З., МУРАДАЛИЕВ А.З.

Объективная оценка показателей надежности оборудования и устройств электроэнергетических систем несмотря на простоту известных формул расчета требует учета особенностей статистических данных эксплуатации. Основной из них является многомерный характер. Традиционные методы расчета предполагают соответствие статистических данных представительной выборке из генеральной совокупности с нормальным законом распределения. Распределение же фактических данных зависит от множества признаков и их разновидностей. В этой связи представляет интерес характер расхождения усредненной и индивидуальной надежности. Чтобы найти показатели индивидуальной надежности, необходимо классифицировать статистические данные по заданным разновидностям признаков. Целесообразность классификации определяется характером расхождения статистической функции распределения конечной совокупности многомерных данных и статистической функцией распределения выборки. Предлагается метод и алгоритм расчета. В иллюстративных целях для восьми энергоблоков 300 МВт на газомазутном топливе анализируется характер расхождения усредненной длительности аварийного отключения и средней длительности отключения каждого энергоблока.

Ключевые слова: энергосистемы, надежность оборудования, многомерные данные, выборка, показатели надежности

The objective estimation of parameters of reliability of the equipment and devices of electro power systems, despite of simplicity of known formulas of calculation, demands the account of features of statistical data of operation. Basic of them is multivariate character. Traditional methods of calculation assume conformity of statistical data to representative sample of general population with the normal law of distribution. Distribution of the fact sheet depends on set of attributes and their versions. Therefore has interest character of a divergence of average and individual reliability. To find parameters of individual reliability it is necessary to classify statistical data on the set versions of attributes. Expediency of classification defines by character of a divergence statistical function distribution of multivariate data of final population and statistical function distribution of the sample. There are offered method and algorithm of calculation. In the illustrative purposes for eight power units 300 MWt on gasblack oil fuel character of a divergence of the average duration of emergency switchingoff and average duration of switchingoff of each power unit analyzed.

Key words: power systems, equipment reliability, multivariate data, sample, parameters of reliability

Электричество, 2015, №12, с.38–44.

Типовые звенья и решетчатые схемы замещения индукционных магнитоэлектрических систем с движущимся проводящим элементом

ИНКИН А.И., АЛИФЕРОВ А.И., БЛАНК А.В.

Электромагнитные процессы в индукционных нагревателях исследованы в работах отечественных и зарубежных авторов на базе численного моделирования в двумерной и трехмерной постановке либо на основе аналитических методов. Однако и численные, и аналитические модели обладают рядом недостатков, главный из которых – необходимость мощной компьютерной техники и значительного расчетного времени.

Ранее авторами статьи были предложены решетчатые схемы замещения, аппроксимирующие двумерные электромагнитные поля в неподвижных кусочно-однородных средах. Публикуемая статья расширяет область применения решетчатых схем замещения и посвящена синтезу активных АН-ячеек многополюсников, моделирующих постоянные магниты и движущуюся проводящую среду. Приводится также тестовый расчет электромагнитного поля в магнитоэлектрической установке индукционного нагрева.

Ключевые слова: электромагнитное поле, магнитоэлектрическая индукционная установка, каскадная схема замещения, решетчатая схема замещения

The electromagnetic processes that take place in induction heaters considered in the works of Russian and foreign researchers were investigated on the basis of numerical modeling in 2D or 3D statement or by means of analytic methods. However, both numerical and analytic models have a number of drawbacks, the most essential of them is that these models require a powerful computer and significant computation time. Earlier, the authors of this article proposed the use of lattice equivalent circuits for approximating 2D electromagnetic fields in stationary piecewise homogeneous media. The published article extends the application field of lattice equivalent circuits and is devoted to synthesizing active AN-cells multipoles modeling permanent magnets and a moving conducting medium. A test calculation of electromagnetic field in a magnetoelectric installation for induction heating is given.

Key words: electromagnetic field, magnetoelectric induction installation, cascade equivalent circuit, lattice equivalent circuit

Электричество, 2015, №12, с.45–51.

О свойстве четырехполюсников четырех структур

ПЕРЕДЕЛЬСКИЙ Г.И., ШЕВЕЛЁВ С.С.

Показана возможность получения четырехполюсников (ветвей) четырех структур с повторяющимися цепями наращивания. Она заключается в замене одиночного резистора в известных ветвях, обеспечивающих раздельное уравнивание только регулируемыми резисторами в мостовых электрических цепях с их использованием, на многоэлементный двухполюсник, эквивалентный многоэлементному двухполюснику, в упомянутой мостовой цепи. Обосновано следующее свойство полученных четырехполюсников: в случае использования в качестве питающих импульсов линейно изменяющейся формы, квадратичной, кубической и т.д. принужденная составляющая с плоской вершиной в выходном импульсе четырехполюсников четырех структур при регулировании резистивных сопротивлений может принимать положительные, нулевые и отрицательные значения. Показано, что только четыре варианта структур четырехполюсников, обеспечивающих раздельное уравнивание в мостовых цепях с импульсным питанием, имеют конечное значение (не нулевое и не бесконечное) резистивного сопротивления на постоянном токе. Рассмотрен пример применения полученных четырехполюсников в мостовых цепях с импульсным питанием. Они обеспечивают и раздельное уравнивание только регулируемыми резисторами, и расширение функциональных возможностей мостовых цепей.

Ключевые слова: мостовая электрическая цепь, импульсное питание, четырехполюсник, цепь наращивания, регулируемые резисторы, функциональные возможности, пример применения

The possibility of obtaining two ports (branches) of four structures with repeating extension circuits is shown. This possibility consists in replacing a single resistor in the known branches, separate balancing in which is achieved only by means of adjustable resistors in bridge electric circuits in which such resistors are used, by a multielement two pole equivalent to the multielement two pole in the abovementioned bridge circuit. The following property of the obtained two ports is substantiated: in case of using feed impulses with a linearly varying shape (quadratic, cubic, etc.), the forced component with a flat top in the output impulse of two ports with four structures in adjusting the resistor values may take positive, zero and negative values. It is shown that only four versions of two port structures ensuring separate balancing in bridge circuits with impulse power supply have a finite value (other than zero and infinite) of the DC resistance. An example of using the obtained two ports in bridge circuits with impulse power supply is considered. The use of such two ports makes it possible to achieve both separate balancing only by means of adjustable resistors and extension of the functional capacities of bridge circuits.

Key words: bridge electric circuit, impulse power supply, two port, extension circuit, adjustable resistors, functional capacities, application example

Электричество, 2015, №12, с.51–58.

Функциональные режимы совмещенного исполнения электрической машины и магнитного редуктора с короткозамкнутым ротором

АФАНАСЬЕВ А.А.

Наличие обмотки на статоре, получающей питание от статического преобразователя частоты, позволяет создать магнитный редуктор (МР) с непрерывно регулируемым коэффициентом редукции. В этом режиме обмотка статора потребляет только намагничивающий ток, содержащий небольшую активную составляющую для компенсации потерь: магнитных в сердечниках и электрических в проводниках обмоток. Показано, что основные функциональные свойства МР могут быть достигнуты при использовании внутреннего ротора с короткозамкнутой обмоткой. Такое исполнение ротора существенно упрощает конструкцию и стоимость МР. Режимы работы рассматриваемого электромеханического совмещённого устройства (СУ) могут анализироваться при его представлении в виде двух элементарных электрических машин, имеющих два различных воздушных зазора и классические статор и ротор; одна машина работает двигателем, другая – генератором. Намагничивающий ток обмотки статора также содержит две составляющие, соответствующие двум воздушным зазорам. Получены выражения для электромагнитных моментов этих машин в функции скольжения ротора с короткозамкнутой обмоткой. Найдены максимальные (предельные опрокидывающие) моменты, соответствующие критическим скольжениям двигательного и генераторного режимов. Преобразователь частоты позволяет регулировать активную электрическую мощность статора СУ и, следовательно, воздействовать на значения механической мощности на валах СУ.

Ключевые слова: электрическая машина, магнитный редуктор, совмещенное исполнение, статический преобразователь частоты, коэффициент редукции, электромагнитные моменты

An electrical machine with a stator winding fed from a static frequency converter can operate as a magnetic speed reducer (MSR) with a continuously adjustable reduction ratio. When the machine operates in this mode, the stator winding consumes only magnetizing current, which contains a small active component for compensating magnetic losses in the cores and electric

losses in the winding conductors. It is shown that the main functional properties of an MSR can be achieved in using an inner rotor with a squirrelcage winding. With such a rotor, the MSR design becomes essentially simpler and less costly. The operating modes of the considered combined electromechanical device can be analyzed by representing it as two elementary electrical machines having two different air gaps and classic stator and rotor, one of which operates as a motor and the other as a generator. The stator winding magnetizing current also contains two components corresponding to the two air gaps. Expressions for the electromagnetic torques of these machines as a function of squirrelcage rotor slipping are obtained. The maximal (limiting stalling) torques corresponding to critical slipping values in the motor and generator modes are found. The frequency converter makes it possible to adjust the active electric power of the combined device stator and, hence opens the possibility to control the mechanical power values on the device shafts.

Key words: electrical machine, magnetic speed reducer, combined makeup, static frequency converter, reduction ratio, electromagnetic torques

Михаил Андреевич Шателен (К 150-летию со дня рождения)

ГРИГОРЬЕВ Н.Д.

Памяти Валентина Евгеньевича Боголюбова (К 100-летию со дня рождения)