

Исследование взаимодействия молнии, инициированной запуском ракет с тросом, с различными объектами и системами (Часть 2)
РАКОВ В.А.

Статья содержит обзор экспериментальных результатов по действию молниевых разрядов, инициированных запуском в грозовое облако ракеты с длинным проводящим шлейфом, на различные объекты и системы. В качестве объектов, находящихся под действием молниевых разрядов, рассматриваются воздушные распределительные сети, подземные кабели, ЛЭП, жилые здания и светосигнальные системы взлетно-посадочных полос аэропортов. Дополнительно дается краткий обзор использования инициированного молниевых разрядов для тестирования компонентов систем питания, различных типов молниеотводов и других объектов, а также для измерений шагового напряжения и исследований фульгуритов.

Ключевые слова: инициирование молнии, ракета, трос

A review of experiments based on using rocket-and-wire triggered lightning and aimed at studying lightning interaction with various objects and systems is given. The test systems included overhead power distribution lines, underground cables, power transmission lines, residential buildings, and an airport runway lighting system. Additionally, briefly reviewed is the use of triggered lightning for testing components of power systems, different types of lightning rods, and other objects, as well as for measuring step voltages and for making fulgurites.

Key words: triggered lightning, rocket-and-wire

Влияние режимов работы автотрансформаторов на качество электроэнергии

ШАРОВ Ю.В., НАСЫРОВ Р.Р., ОЛЕКСЮК Б.В., СИМУТКИН М.Г.,
ТУЛЬСКИЙ В.Н., ШАМОНОВ Р.Г.

Представлен анализ влияния силового автотрансформатора на качество электроэнергии по n -й гармонической составляющей напряжения. На математической модели автотрансформатора показаны зависимости генерируемых токов высших гармоник от эквивалентного индуктивного сопротивления системы, наличия в приложенном напряжении высших гармоник, действующего значения приложенного напряжения основной частоты, а также от характера и мощности нагрузки. Показано, что влияние силовых автотрансформаторов на качество электроэнергии по n -й гармонической составляющей напряжения незначительно в отсутствие резонансных явлений в сети.

Ключевые слова: силовой автотрансформатор, качество электроэнергии, имитационное моделирование, высшие гармоники тока

The effect the power transformer equipment has on the electric power quality with respect to the n -th harmonic component of voltage is analyzed. The dependences of the generated higher harmonic components of currents on the equivalent system reactance, on the presence of higher harmonic components in the applied voltage, on the effective value of the applied power frequency voltage, and on the nature and capacity of load are shown on the autotransformer model. It is demonstrated that power insignificant influence on the electric power quality with respect to the n -th harmonic component of voltage provided that there are no resonance phenomena in the network.

Key words: power transformer, quality of electric power, simulation, higher harmonic components of current

**Система последовательно упрощаемых математических моделей
электроэнергетических систем для расчета электромеханических переходных
процессов**
ФОМИНА Т.Ю.

На основе полной модели разработана система последовательно упрощаемых математических моделей электроэнергетических систем (ЭЭС) для расчета электромеханических переходных процессов, определены области применения упрощенных моделей и критерии перехода на эти модели. Переходный процесс в электроэнергетической системе условно разбивается на три этапа, для каждого из этапов используется соответствующая расчетная модель.

Первый этап соответствует переходному процессу до затухания электромагнитных переходных процессов в обмотках статора и элементах электрической сети. На первом этапе расчет переходного процесса ведётся по полной модели с маленьким шагом интегрирования. Второй этап моделирует переходный процесс от затухания электромагнитных переходных процессов до начала общего движения синхронных машин в энергосистеме. Третий моделирует общее движение синхронных машин в энергосистеме после затухания взаимных качаний. Проведены расчеты для тестовой схемы, в том числе расчеты с увеличенным шагом интегрирования. Показано, что использование упрощенных описаний ЭЭС для различных этапов переходного процесса допустимо и целесообразно.

Ключевые слова: электроэнергетические системы, длительные переходные процессы, математическое моделирование, упрощенные модели

A system of sequentially simplified models of an electric power system intended for calculating electromechanical processes in it is developed proceeding from the power system's full model. A transient in the electric power system is conditionally subdivided into three stages, and the suitable mathematical model is used for each of the stages.

The first stage corresponds to the transient that lasts to the decay of electromagnetic processes in the stator windings and in the electric network elements. In the first stage, the transient is calculated according to the full model and with a small integration step. In the second stage, the transient from the decay of electromagnetic transients to the onset of common motion of synchronous machines in the power system is simulated. In the third stage, common motion of synchronous machines in the power system after the decay of their mutual swings is simulated. The calculation results obtained for the test power system configuration are presented, including those carried out with an increased integration step. It is demonstrated that the use of simplified descriptions of an electric power system for different intervals of a transient is acceptable and advisable.

Key words: electric power systems, transients, mathematical modeling, simplified models

Параметры и области существования феррорезонанса 50 Гц трансформаторов напряжения 110–500 кВ

ЗИЛЕС Л.Д.

Феррорезонансные явления в колебательном контуре rLC с нелинейной индуктивностью рассматриваются как чередование линейных переходных процессов при насыщенном и ненасыщенном состоянии магнитопровода. Совместное рассмотрение этих двух процессов приводит к простым формулам для оценки значений напряжений и токов феррорезонансных колебаний промышленной частоты, а также условий их существования, в том числе при отключениях электромагнитных трансформаторов напряжения. Результаты расчетов конкретных процессов хорошо согласуются с соответствующими данными, полученными другими авторами методом компьютерного моделирования. Хорошее совпадение результатов свидетельствует о возможности применения предлагаемых формул не только для оценок параметров феррорезонансных явлений, но и для определения эффективности различных мероприятий для подавления или предупреждения феррорезонанса. Рекомендуется применение трансформаторов напряжения с индуктивностью порядка 1000 Гн при насыщенном или ненасыщенном состоянии сердечника.

Ключевые слова: магнитопровод, колебательный контур, трансформаторы напряжения, переходный процесс, явление феррорезонанса

Ferroresonance phenomena occurring in an oscillatory RLC circuit containing nonlinear inductance are considered as alternation of linear transients with the magnetic core switched from saturated to nonsaturated state. Combined consideration of these processes makes it possible to obtain simple formulas for estimating the voltages and currents characterizing the ferroresonance oscillations at power frequency and conditions for their existence, including the configurations with disconnected electromagnetic voltage transformers. The results from calculations of particular processes are in good agreement with similar data obtained by other researchers using the computer simulation method. The good agreement between these results means that the proposed formulas can be used not only for evaluating the parameters of ferroresonance phenomena, but also for estimating the effect from various measures aimed at suppressing or preventing the occurrence of ferroresonance. It is recommended to use voltage transformers with inductance of around 1000 H with the magnetic core being in saturated or nonsaturated state.

Key words: magnetic core, oscillatory circuit, transformers, transient, ferroresonance phenomenon

Математическое моделирование индукторной машины с учётом насыщения магнитной цепи

БАЛЬ В.Б., ТАН ТХУН АУНГ

Представлена математическая модель индукторной машины, позволяющая учитывать насыщение магнитной цепи, не прибегая к ее текущим расчетам. Для моделирования используются традиционные уравнения электрического равновесия фаз и уравнения магнитной цепи машины. Момент индукторной машины рассчитывается на основе уравнения, учитывающего насыщение магнитной цепи. Предлагаемая методика моделирования позволяет учитывать насыщение зубцовой зоны индукторной машины.

Ключевые слова: индукторная машина, математическая модель, магнитная цепь, насыщение, момент

The mathematical model of an inductor machine using which saturation of the magnetic circuit can be taken into account without resorting to its current calculation is presented. The machine is modeled using the conventional equations for electrical equilibrium of phases and the equations for the machine magnetic circuit. The inductor machine torque is calculated using an equation in which magnetic circuit saturation is taken into account. The proposed modeling method makes it possible to take into account saturation of the inductor machine's tooth zone.

Key words: inductor machine, mathematical model, magnetic circuit, saturation, torque

Круговой виток с разрезом над тонкостенным листовым проводником в магнитно-импульсной обработке металлов

ГНАТОВ А.В.

Проведен анализ электромагнитных процессов в индукторной системе для магнитно-импульсной обработки металлов, состоящей из плоского «незамкнутого» кругового витка, расположенного над тонкостенной немагнитной проводящей листовой заготовкой. Получены основные зависимости для расчёта пространственно-временного распределения вихревых токов в рассматриваемой индукторной системе. По полученным аналитическим соотношениям даны численные оценки и построены объёмные эпюры амплитудно-пространственного распределения плотности индуцированного тока.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка металлов, индукторная система, электромагнитные процессы, тонкостенная листовая заготовка, вихревые токи

Identical solenoids are used as tools for magnetic-impulse processing of metals in studying the relevant electromagnetic processes, which are represented in an analysis by closed circular loops. The use of such assumption makes it possible to simplify the solution of the stated problem by introducing the axial symmetry condition [1—4]. In reality, a turn cannot be a closed circular loop; it is a circuit element connected in series with a power source. The turn has a cut, and the function describing the azimuthal distribution of exciting current undergoes a second-kind discontinuity [5].

Eddy currents in thin-walled metals are excited under the conditions in which the acting electromagnetic fields intensely penetrate in them. Investigation of these processes for magnetic-impulse processing of metals is a topical problem with essential significance for practical applications. Therefore, an analysis of the way in which eddy currents are excited in physically opposite idealizations will make it possible to estimate the natural differences to the fullest extent and to reveal the most interesting lines of further investigations of real designs of tools aimed at implementing magnetic-impulse technologies [6, 7].

The aim of this study is to calculate spatial and temporal distribution of eddy currents excited by the field induced by a flat «undosed» circular turn placed above a thin-walled nonmagnetic metal sheet. The calculation results allow a conclusion to be drawn that penetration of acting field through the metal of a thin-walled sheet leads in the final analysis to «spreading» of induced current in the transverse direction from the region lying immediately under the inductor turn. As the «cut» width increases in the case of thin-walled sheet metal, the induced current amplitude immediately under the inductor turn

becomes essentially smaller than in the case of an ideal conductor. The author of the article gives a physical explanation to this fact.

Key words: magnetic-impulse processing of metals, inductor system, electromagnetic processes, thin-walled sheet billet, eddy currents

Определение магнитного центра с помощью проходных характеристик распределения магнитной индукции

ГЕТЬМАН А.В.

Одним из практических способов решения проблемы магнитной совместимости является компенсация внешнего магнитного поля технического объекта (ТО) с помощью дополнительного (компенсационного) источника. При этом магнитный момент компенсационного источника выбирают равным, но противоположно направленным собственному магнитному моменту объекта [1], чтобы суммарный магнитный момент объекта и компенсационного источника был равен нулю. Однако оказывается отличным от нуля их суммарное магнитное поле (МП), которое зависит от местоположения компенсационного источника. Такое местоположение компенсационного источника, при котором минимизируется суммарное магнитное поле, называют магнитным центром объекта. Тем самым магнитный центр является оптимальным местом для установки дополнительного источника при компенсации внешнего МП ТО. Знание местоположения магнитного центра также необходимо для правильной работы алгоритмов систем управления ориентацией космического аппарата на орбите [2]. Рассмотрена возможность практического определения местоположения магнитного центра с помощью расчета координат смещения дипольного магнитного момента технического объекта. В качестве исходных параметров расчета используются дипольный и квадрупольный магнитные моменты объекта. Для определения мультипольных магнитных моментов предлагается способ на основе интегрирования магнитной индукции при линейном перемещении объекта.

Ключевые слова: магнитная совместимость, магнитная индукция, магнитный центр, мультипольный магнитный момент

One of practical methods for solving the magnetic compatibility problem is to compensate the external magnetic field of a technical facility by means of an additional (compensating) source. The magnetic moment produced by this source is set equal to the facility's own moment but oppositely directed with respect to the latter [1] so that the resulting magnetic moment of the facility and source was equal to zero. However, their resulting magnetic field, which depends on the compensating source position, differs from zero. The compensating source position at which the resulting magnetic field reaches its minimum is called the facility's magnetic center. Thus, the magnetic center is the optimal location for placing the additional source in compensating the technical facility's external magnetic field. Knowledge of magnetic center location is also essential for organizing proper operation of the algorithms of spacecraft orientation control systems in the orbit [2]. The possibility of practically determining the magnetic center location by calculating the displacement coordinates of a technical facility's dipole magnetic moment is considered. The facility dipole and quadruple magnetic moments are used as initial parameters for calculation. A method for determining multipole magnetic moments is proposed, central to which is integration of magnetic induction during linear displacement of the facility.

Key words: magnetic compatibility, magnetic induction, magnetic center, multipole magnetic moment

Тестовая диагностика активных электрических цепей на основе коммутационных воздействий
КИНШТ Н.В., ПЕТРУНЬКО Н.Н.

Традиционно тестовые воздействия на электрическую цепь в процессе ее диагностирования осуществляются подачей активных тестовых сигналов от источников. В случае, когда диагностируемая электрическая цепь активна, любые изменения ее режима работы могут рассматриваться как тестовые воздействия. Представлены две модели организации тестового диагностирования электрической цепи: модель, основанная на коротких замыканиях доступных узлов, и модель обработки данных, полученных за счет вариации пассивной нагрузки. В теоретических построениях в качестве матрицы параметров применена матрица узловых проводимостей. Это не умаляет общности полученных результатов, которые легко могут быть распространены на любую матрицу параметров, в которой явно фигурируют искомые параметры элементов. Что касается применимости метода коротких замыканий, то он ограничивается лишь технологическими ограничениями на практическое функционирование электрической цепи и в слаботочных электронных цепях имеет большую перспективу. В целом возможности уточнения формулировок и ограничений изложенных задач не исчерпаны.

Ключевые слова: электрическая цепь, диагностика, математическая модель, короткое замыкание, вариация нагрузки

Test impacts applied to an electric circuit in the course of its diagnostics are commonly organized by applying active test signals from sources. If an electric circuit being diagnosed is active, any changes of its operating mode can be regarded as test impacts. Two models of organizing test diagnostics of an electric circuit are presented: a model based on applying short circuits at the accessible nodes and a model for processing data obtained by varying a passive load. The matrix of nodal admittances is used in the theoretical manipulations as a parameter matrix. This approach does not detract from the generality of the obtained results, which can be easily extended for any matrix of parameters in which the sought parameters of elements appear in explicit form. As to applicability of the short-circuit method, it is limited only by technological constraints imposed on practical operation of the electric circuit and has good prospects for use in low-current electronic circuits. On the whole, the possibilities of refining the statements and limitations of the described problems have not been exhausted.

Key words: electric circuit, diagnostics, mathematical model, short circuit, variation of load

Проблемы трансформаторостроения на совместном коллоквиуме комитетов А2 и С4 СИГРЭ в 2013 г.

ЛАРИН В.С.

Обзор докладов постер-сессии. ПТ1 «Взаимодействие между трансформатором и электрической системой».

Новые методические возможности изучения частотных и резонансных свойств электрических цепей при использовании учебно-лабораторного комплекса NETELAB

БУРЫЙ Е.В., МАСЛЕННИКОВА С.И.

Рассмотрены методические возможности использования новых функций учебно-лабораторного комплекса NETELAB для повышения уровня практической подготовки студентов, изучающих основы электротехники. Отмечено, что универсальность комплекса, хороший баланс возможностей проведения измерений и информативности отображаемых результатов являются основой его результативного использования в учебном процессе. Даны оценки экономии учебного времени по отношению ко времени, затрачиваемому на проведение лабораторных работ с применением стандартных измерительных приборов. Отмечено, что автоматическое измерение амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик, выполняемое в течение 10 с для выбранного диапазона частот гармонического сигнала, наглядно демонстрирует влияние изменения параметров схемы на вид этих характеристик. Обоснованы преимущества использования комплекса NETELAB в учебном процессе: студенты приобретают навыки практической работы с измерительным оборудованием, что невозможно при использовании имитационных программных продуктов, и углубляют знания о свойствах электрических цепей, в том числе явлении резонанса и частотных свойствах различных звеньев. Представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных студентами на комплексе NETELAB, позволившие оценить корректность неочевидных для них результатов курсовых работ.

Ключевые слова: электротехника, методика преподавания, электрические цепи, резонанс, частотные свойства

The methodical possibilities of using the new functions available in the NETELAB education and laboratory system for enhancing the practical training level of students studying the principles of electrical engineering are considered. It is pointed out that the versatility of the system and good balance between the possibilities of carrying out measurements and content of information in the displayed results are the basis of its fruitful use in the education process.

Key words: electrical engineering, education methodology, electric circuits, resonance, frequency properties

Владимир Иванович Виссарионов (некролог)