*Электричество, 2016, № 6, с. 4–9.*

**Особенности защиты зданий и сооружений тремя стержневыми молниеотводами**

КУПРИЕНКО В.М.

Защита зданий и сооружений многократными стержневыми молниеотводами с различным уровнем надежности Рн, до настоящего времени не имеет достаточного обоснования. В статье приведены результаты исследований по определению предельного диаметра Dз и расстояния Lmax между трехстержневыми молниеотводами при защите объекта произвольной формы. Для анализа вероятности поражения объекта при его защите трехстержневыми молниеотводами использован угол защиты аз, который определяется отношением радиуса защиты rx к высоте активной части молниеотводов ha, возвышающейся над объектом высотой hx. Показано, что диаметр D3 и предельное расстояние Lmax между трехстержневыми молниеотводами зависит от уровня защиты Рн и взаимного влияния активной части молниеотводов, возвышающейся над объектом. Неучет указанных факторов при защите объекта с заданным уровнем надежности Рн приводит к значительному (иногда более чем в 1,5 раза) завышению диаметра Dз и предельного расстояния Lmax в нормативных документах по молниезащите.

*Ключевые слова*: молния, молниезащита, стержневые молниеотводы, зона защиты, вероятность поражения, надежность молниезащиты.

Lightning protection of buildings and constructions by multiple lightning&conductor rods with different level of protection Рн still doesn’t have reliable scientific substantiation. This paper shows the results of investigations, devoted to determination of the maximum diameter D3 and distance Lmax between multiple lightning-conductor rods, used for protection of construction with arbitrary shape. To analyze probability of damaging the object defended by lightning-conductor rods we use the protection angle a, determined by relation of the protection radii rx to the height of active part of the rods ha, risen over the object with the height hx. It is shown that diameter D3 and the maximum distance Lmax depends on the shape of the object, level of protection Рн, and crosstalk of active part of the rods. Lack of taking into account of all these parameters results in significant overestimation (sometimes more than twice) of the maximum diameter D3 and distance Lmax.

*Key words*: lightning, lightning protection, lightning-conductor rod, protection zone probability of damaging, reliability.

*Электричество, 2016, № 6, с. 10–15.*

**Расчет площади стягивания молнии методом наведенного заряда**

**ШИШИГИН С.Л., МЕЩЕРЯКОВ В.Е., ШИШИГИН Д.С.**

Площадь стягивания молнии определяется двумя процессами – электростатическим притяжением (стягиванием) заряда лидера к наведенному заряду наземного объекта и развитием встречного лидера. Рассматривается первый из них. В предположении, что усредненный лидер молнии движется по силовым линиям, методика исследования заключается в анализе искажения силовой линии электростатического поля заряженного облака, проведенной через крайнюю точку зоны захвата. Заряд лидера и зона захвата определяются по методу Г.Н. Александрова. Показано, что наведенный заряд невысоких объектов компенсируется его зеркальным зарядом и электростатическое стягивание незначительно. Исследовано влияние высоты и диаметра стержневых объектов, тока молнии и рельефа местности на площадь стягивания. Для сравнения приведены данные действующих стандартов молниезащиты и работ других исследователей.

*Ключевые слова* лидер молнии, стягивание, площадь стягивания, радиус стягивания, метод наведенного заряда.

Lightning attractive area is formed by two processes – the electrostatic attraction of a leader charge to induced charges on ground objects and the propagation of upward connecting leader. In this paper the first process is considered. On the hypothesis that the average lightning leader is propagating along electric force lines the research methodology lies in the analysis of the distortion of the force line of the charged cloud electrostatic field that runs through the end point of the capture zone. The leader charge and the capture zone design are determined by the G.N. Alexandrov’s way. It is shown that the induced charge of low objects is compensated by its image charge and the electrostatic attraction is insignificant. The influence of height and diameter of rod objects, lightning current and terrain on the attractive area is examined. The data of actual lightning protection standards and other researcher’s works are presented for the comparison.

*Key words*: lightning leader, attraction, attractive area, attractive radius, induced charge method.

***Электричество, 2016, № 6, с. 16–21.***

**Расчет кривых опасных параметров при высоких сопротивлениях заземлений опор линий электропередачи**

КУКЛИН Д.В., ЕФИМОВ Б.В.

При расчете кривых опасных параметров используется предположение, согласно которому напряжение на изоляции резко падает после окончания фронта тока молнии. Однако при высоких значениях сопротивлений заземлителей данное предположение не верно, поэтому в таких случаях обратные перекрытия изоляции могут происходить и на спаде тока. Это приводит к ошибке расчета кривых опасных параметров и, как следствие, ошибочному значению вероятности перекрытия изоляции. Представлены примеры расчетов кривых опасных параметров, позволяющие оценить уровень ошибки, а также рассчитаны значения вероятностей как при учете перекрытий изоляции на спаде тока, так и без него. Показано, что отсутствие учета перекрытий на спаде тока молнии может приводить к существенной ошибке расчета вероятности перекрытия изоляции.

*Ключевые слова*: опора линии электропередачи, заземление, кривая опасных параметров, расчет, метод конечных разностей.

For calculations of curves for dangerous parameters an assumption is used according to which insulation voltage drops after the end of lightning current front. However, this assumption is wrong for the groundings with high resistance, therefore in these cases back flashovers are possible at the tail of current. This leads to error of calculations of curves for dangerous parameters and, as a result, to erroneous value of insulation flashover probability. Examples of calculations of curves for dangerous parameters are presented in the article, which allows to estimate level of the error, in addition, values of probability are calculated both with considering flashovers at the tail of current and without it. It is shown that without taking flashovers at the current tail into account a significant error of calculated insulation flashover probability can appear.

*Key words*: transmission line tower, grounding, dangerous parameters curve, calculation, finite difference method.

***Электричество, 2016, № 6, с. 21–25.***

**Экологические последствия аварийных ситуаций в электрических сетях**

СКОПИНЦЕВ В.А.

При эксплуатации воздушных линий электропередачи и подстанций возможны аварийные ситуации с экологическими последствиями для человека и окружающей природной среды. Предлагаются методический подход и расчётные формулы для оценки экологического риска при аварийных ситуациях в электрических сетях. Приводится анализ нарушений в МЭС Урала с экологическими последствиями за период с 2006 по 2015 гг.

*Ключевые слова*: электрическая сеть, аварийная ситуация, экологические последствия, риск негативных последствий, статистические данные.

Emergency situations entailing ecological consequences for a human and natural environment may occur during operation of overhead power lines and substations. A methodical approach and calculation formulas are proposed for evaluating the ecological risk associated with emergency situations in electric networks. An analysis of deviations from normal operation in the Ural power system entailing ecological consequences that occurred for the period from 2006 по 2015 is given.

*Key words*: electricnetwork, emergency situation, ecological consequences, risk of negative consequences, statistical data.

***Электричество, 2016, № 6, с. 25–33.***

**Расчет магнитных потерь электромеханических устройств**

АФАНАСЬЕВ А.А.

На основе решения уравнения Ландау–Лифшица для однодоменной структуры магнетика предлагаются формулы для расчёта гистерезисных явлений при переменном, вращательном и переменно-вращательном перемагничивании электротехнической стали. Рассматриваются расчётные кривые нутации вектора намагниченности, гистерезисные петли при продольном и поперечном гармоническом воздействии внешнего магнитного поля на домен с учётом его структуры при статическом симметричном намагничивании. Обсуждаются возможности использования полученных уравнений для многодоменного ферромагнетика. Проводится гармоническая линеаризация симметричной гистерезисной петли с целью определения параметров эквивалентных синусоид магнитного поля и удельных гистерезисных потерь. Метод численного расчета потерь от вихревых токов в

стальных листах шихтованного магнитного сердечника, предлагаемый авторами, основан на определении среднего значения вектора Пойнтинга плоских электромагнитных волн, воздействующих на обе стороны каждого листа локальных элементарных участков (ЭУ) сердечника. Программа численного метода предусматривает разбиение нелинейных фрагментов магнитной цепи (зубцов, ярм, постоянных магнитов) на совокупность ЭУ, магнитная проницаемость которых дискретно постоянна внутри (после итерационного уточнения) и испытывает скачки на границах ЭУ. Расчёты магнитных потерь, выполненные на основе этой полевой программы, учитывают особенности геометрической формы каждого ЭУ.
*Ключевые слова*: электромеханические устройства, уравнения Ландау–Лифшица, перемагничивание, гармоническая линеаризация, удельные магнитные потери, математическое моделирование, численные расчёты.

Formulas for calculating the hysteresis phenomena entailing alternating, rotary, and alternating-rotary remagnetization of electric steel are proposed based on solving the Landau–Lifshitz equation for a single-domain magnetic structure. Calculated nutation curves of a magnetization vector are considered along with hysteresis loops under the longitudinal and transverse harmonic influence of external magnetic field on the domain taking into account its structure under the conditions of static symmetrical magnetization. Possibilities of using the obtained equations for a multidomain ferromagnetic are discussed. A symmetrical hysteresis loop is subjected to harmonic linearization for determining the parameters of equivalent magnetic field sine-wave curves and specific hysteresis losses. The author proposes a method for numerically calculating eddy current losses in steel sheets of a laminated magnetic core, which is based on determining the mean Pointing vector value for plane electromagnetic waves acting on both sides of each sheet of the core's local elementary sections (ESs). The program implementing the numerical method decomposes the magnetic circuit nonlinear fragments (teeth, yokes, and permanent magnets) into a totality of ESs the magnetic permeability of which is discretely constant inside (after iterative refinement) and experiences jumps at the ES boundaries. The magnetic loss calculations carried out on the basis of this field program take into account the geometric shape features of each ES.
*Key words*: electromechanical devices, Landau–Lifshitz equations, remagnetization, harmonic linearization, specific magnetic losses, mathematical modeling, numerical calculations

*Электричество, 2016, № 6, с. 34–40.*

**Моделирование боковых усилий в линейной индукционной машине для электродинамической сепарации**

КОНЯЕВА.Ю., БАГИН Д.Н.

Рассмотрен электродинамический сепаратор с бегущим магнитным полем на основе линейных индукторов. Электродинамическая сепарация, основанная на взаимодействии магнитного поля с вихревыми токами, наведенными этим полем в проводящих частицах, наиболее эффективна при сборе и переработке цветных металлов. Сепарация является результатом совместного действия нескольких сил: электромагнитных (продольных и боковых), гравитации, трения и др. В статье представлена математическая модель для исследования боковых электромагнитных сил в линейной индукционной машине. Выполнена экспериментальная проверка результатов расчетов. Характеристики подтверждают работоспособность математической модели. Описаны результаты исследования боковых электромагнитных сил в опытном образце электродинамического сепаратора.

*Ключевые слова*: электродинамическая сепарация, линейная индукционная машина, сортировка металлов, боковые электромагнитные силы, математическое моделирование, экспериментальная проверка.

An electromagnetic separator with traveling magnetic field constructed on the basis of linear inductors is considered. Electrodynamic separation based on interaction between magnetic field and eddy currents induced by this field in conducting particles is most efficient in collecting and reprocessing non-ferrous metals. The separation phenomenon results from the combined effect of several forces: electromagnetic (longitudinal and lateral ones), gravity, friction, and others. A mathematical model for investigating lateral electromagnetic forces arising in a linear induction machine is presented. An experimental check of calculation results is carried out. The obtained characteristics confirm the validity of the developed mathematical model. The results obtained from investigations of lateral electromagnetic forces in the experimental sample of an electrodynamic separator are described.

*Key words*: electrodynamic separation, linear induction machine, metal sorting, lateral electromagnetic forces, mathematical modeling, experimental check.

***Электричество, 2016, № 6, с. 41–46.***

**Сравнение методов расчета потерь в стали вентильно-индукторных двигателей**

АНТИПОВ В.Н., ГРОЗОВ А.Д., ИВАНОВА А.В.

Выполнен анализ методов расчета потерь в стали вентильно-индукторных двигателей (ВИД) при несинусоидальной форме магнитного потока с частотой перемагничивания в диапазоне от 100 до 3000 Гц. Установлена область применения различных методов. Разделение потерь перемагничивания на составляющие от гистерезиса и вихревых токов при высоких частотах дает неверные результаты. Показаны преимущества расчета с использованием обобщенного уравнения Стейнметца. Дана оценка распределения потерь в магнитопроводе по результатам расчета электромагнитного поля методом конечных элементов. Показано, что около 75% общих потерь перемагничивания выделяется в спинке статора. Выбором толщины листа и марки сплава потери перемагничивания могут быть уменьшены на 35–45%. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании ВИД с высокой частотой перемагничивания.

*Ключевые слова*: вентильно-индукторный двигатель, вихревые токи, гистерезис, магнитные потери в стали, обобщенные уравнения Стейнметца, частота перемагничивания.

The article presents an analysis of methods used to calculate iron losses in converted-fed inductor motors (CFIMs) operating under the conditions of a non-sine-wave magnetic flux with the remagnetization frequency varying in the range from 100 to 3000 Hz. The application fields of different methods are determined. An attempt to separate remagnetization losses into the components due to hysteresis and eddy currents yields incorrect results at high frequencies. Advantages of using the generalized Steinmetz equation for calculation are demonstrated. The distribution of losses in the magnetic core estimated from the results of magnetic field calculation using the finite element method is given. It is shown that around 75% of the total remagnetization losses release in the stator back. The remagnetization loss can be reduced by 35—45% through properly selecting the core plate thickness and alloy grade. The obtained study results can be used in designing CFIMs intended to operate at high remagnetization frequency.

*Key words*: converter-fed inductor motor (CFIM), eddy currents, hysteresis, magnetic losses in iron, generalized Steinmetz equations, remagnetization frequency.

***Электричество, 2016, № 6, с. 47–54.***

**Расчёт параметров трансформаторов**

КРИВОНОСОВ Г.А.

Открытое более 150 лет назад явление электромагнитной индукции трудами ученых и инженеров многих поколений воплотилось в широко известное устройство – трансформатор. К настоящему времени изобретено много типов трансформаторов как одностержневой (антенны в радиоприемниках), так и многостержневой пространственной формы [1]. Однако расчет конструкции трансформаторов проводится с использованием эмпирических данных, накопленных за многие годы, поскольку отсутствует методика их расчета на основе строгих физических обоснований. В статье делается попытка, опираясь на физические законы, теоретически обосновать расчет основных конструктивных размеров трансформаторов разных типов при их проектировании. Приводятся примеры расчета на основе разработанной методики.

*Ключевые слова*: электромагнитная индукция, трансформатор, многостержневой сердечник, методика и примеры расчета параметров.

The electromagnetic induction phenomenon, which was discovered more than 150 years ago, has been embodied, owing to efforts of many generations of scientists and engineers, in to a widely known device called a transformer. A lot of transformer types have been invented, including those having single-leg (aerials in radio receivers) and spatial multileg shapes [1]. However, transformer designs are calculated using empirical data accumulated for many years, because their calculation procedure based on rigorous physical grounds is lacking. An attempt is made in the article to theoretically substantiate calculation of the main design sizes of different types of transformers in designing them based on physical laws. Examples of calculation based on the developed procedure are given.

*Key words*: electromagnetic induction, transformer, multileg core, parameter calculation procedure and examples.

*Электричество, 2016, № 6, с. 55–61.*

**Из истории электротехники. Никола Тесла (1856–1943)**

Григорьев Н.Д.

*Электричество, 2016, № 6, с. 62-63.*

**Анатолий Владимирович Нетушил (К 100-летию со дня рождения)**

*Электричество, 2016, № 6, с. 64-64.*

**Изяслав Борисович Пешков (К 80-летию со дня рождения)**