Электротехника, 2025, №4, стр. 1-1

Содержание

Электротехника, 2025, №4, стр. 2-6

Влияние сферических наполнителей на основе диоксида кремния на характеристики изоляционных материалов

ГАЛИМОВА А.В., ЛЫСОВ Н.Ю., ЛЕБЕДЕВА Н.А., МИРЗАБЕКЯН Г.З., КОВАЛЕВ Д.И.

Представлены результаты численного моделирования композитных диэлектрических материалов с наполнителями на основе диоксида кремния. Предложена модель единичного объема материала с различным процентным содержанием наполнителя. Получены зависимости различных физических параметров материала от его состава. Показаны возможности создания материалов с требуемыми тепловыми, механическими и электроизоляционными параметрами путем использования диоксида кремния в качестве наполнителя.

Ключевые слова: композитный диэлектрик, эпоксидный компаунд, диоксид кремния, моделирование, изоляция.

The results of numerical modeling of composite dielectric materials with fillers based on silicon dioxide are presented. A model of a single volume of material with a different percentage of filler is proposed. The dependences of various physical parameters of the material on its composition are obtained. The possibilities of creating materials with the required thermal, mechanical and electrical insulation parameters by using silicon dioxide as a filler are shown.

Key words: composite dielectric, epoxy compound, silicon dioxide, modeling, insulation.

Электротехника, 2025, №4, стр. 7-11

Влияние фракционного состава наполнителя на свойства композитных

диэлектриков

ЛЫСОВ Н.Ю., ГАЛИМОВА А.В., МИРЗАБЕКЯН Г.З., ЛЕБЕДЕВА Н.А.КОВАЛЕВ Д.И.

Представлены результаты численного моделирования композитных диэлектриков с наполнителями различной природы. Показано, что одновременное применение наполнителя крупной и мелкой фракций позволяет создавать материалы с высокой степенью структурной однородности. Определены интервалы, в которых объемное содержание крупной и мелкой фракций практически не влияет на параметры материала.

Ключевые слова: композитный диэлектрик, эпоксидный компаунд, фракционный состав, моделирование.

The results of numerical modeling of composite dielectrics with fillers of various nature are presented. It is shown that the simultaneous use of filler of coarse and fine fractions makes it possible to create materials with a high degree of structural uniformity. The intervals in which the volume content of coarse and fine fractions practically does not affect the parameters of the material are determined.

Key words: composite dielectric, epoxy compound, fractional composition, modeling.

Электротехника, 2025, №4, стр. 12-21

Основные направления улучшения электроизоляционных характеристик полимеров для применения в высоковольтном оборудовании

КОВАЛЕВ Д.И., ВАРИВОДОВ В.Н., ГОЛУБЕВ Д.В., ЕЛФИМОВ С.А., КРУГЛИКОВ Д.А.

Рассмотрены основные направления работ, направленных на улучшение электроизоляционных характеристик полимеров, используемых в качестве изоляции высоковольтного оборудования. Представлен аналитический обзор технических и технологических решений по оптимизации этих материалов – таких, как применение новых эпоксидных смол, изменение размеров и структуры частиц наполнителей. Проведено сопоставление электроизоляционных свойств традиционных полимеров и полимеров, использующих нанонаполнители. Отмечено, что характеристики полимеров с нанонаполнителями могут быть более предпочтительны для применения в

высоковольтной технике. Выделены основные направления совершенствования полимеров по повышению электрической и механической прочности, теплостойкости и теплопроводности.
Ключевые слова: высоковольтное оборудование, полимерная изоляция, эпоксидная смола, электрическая прочность, теплостойкость, теплопроводность.

The main directions of work aimed at improving the electrical insulation characteristics of polymers used as insulation for high-voltage equipment are considered. An analytical review of technical and technological solutions for optimizing these materials is presented, such as the use of new epoxy resins, changing the size and structure of filler particles. The electrical insulation properties of traditional polymers and polymers using nanofillers are compared. It is noted that the characteristics of polymers with nanofillers may be more preferable for use in high-voltage engineering. The main directions of polymer improvement to increase electrical and mechanical strength, heat resistance and thermal conductivity are highlighted.
Key words: high-voltage equipment, polymer insulation, epoxy resin, electrical strength, heat resistance, thermal conductivity.

Электротехника, 2025, №4, стр. 22-29

Кабельные муфты для кабельных линий напряжением 6–500 кВ с полимерной изоляцией (Обзор)

ВАРИВОДОВ В.Н., КОВАЛЕВ Д.И., ГОЛУБЕВ Д.В., ЕЛФИМОВ С.А., НЕСТЕРЕНКО А.А.

Рассматриваются актуальные вопросы оптимизации конструкции и технологии изготовления кабельных муфт для кабельных линий напряжением 6–500 кВ с полимерной изоляцией. Рассмотрены специальные конструктивные и технологические решения, направленные на повышение надежности кабельных муфт, включающие введение дополнительного слоя изоляции, использование стресс-конусов, применение электрически прочных гелей и жидкостей, а также внутренних экранов и полупроводящих обкладок. Для напряжений до 35 кВ рекомендовано применение термоусаживающихся трубок, полупроводящих обкладок и специализированных изоляционных составов, для линий 35 кВ и выше в основном применяются стресс-конусы, встроенные экраны и специальные покрытия. Отмечена важность выбора

оптимальных изоляционных материалов и совершенствования методов расчета электрической прочности для обеспечения надежности работы кабельных муфт высокого и сверхвысокого напряжения.
Ключевые слова: кабельные линии 6–500 кВ, кабельные муфты, изоляционные материалы, полимерная изоляция, распределение электрического поля, электрическая прочность.

The current issues of optimizing the design and manufacturing technology of cable couplings for cable lines with a voltage of 6–500 kV with polymer insulation are considered. Special design and technological solutions aimed at improving the reliability of cable couplings are considered, including the introduction of an additional layer of insulation, the use of stress cones, the use of electrically durable gels and liquids, as well as internal shields and semi-conducting plates. For voltages up to 35 kV, the use of heat-shrinkable tubes, semi-conducting plates and specialized insulating compositions is recommended; for lines of 35 kV and above, stress cones, built-in screens and special coatings are mainly used. The importance of choosing optimal insulating materials and improving methods for calculating electrical strength to ensure reliable operation of high and ultrahigh voltage cable couplings is noted.
Key words: 6–500 kV cable lines, cable couplings, insulating materials, polymer insulation, electric field distribution, electrical strength.

Электротехника, 2025, №4, стр. 30-35

Влияние импульсного электромагнитного воздействия на распределение квантового ключа

БЕЛОВА О.С., БОЛОТОВ Д.В., КАЗАНЦЕВ С.Ю., КЛУБКОВ А.В., КОЛЕСНИКОВ О.В., ПАИМЦЕВ Г.П., ЯРЫГИН М.А.

Рассмотрены результаты воздействия электромагнитного поля электрического разряда на работу установки квантовой связи, использующей фазовое кодирование информации. При моделировании близких разрядов молнии с помощью генератора импульсных напряжений, зарегистрировано снижение скорости выработки просеянного ключа и рост квантовых битовых ошибок, однако импульсное воздействие было значительно короче частоты формирования квантового ключа и могло не оказать на

работу линии существенного воздействия. Кроме того, свой вклад в изменение измеряемых параметров квантовой связи может вносить нагрев блоков КРК в результате продолжительной работы.
Ключевые слова: установки квантовой связи, фазовое кодирование информации, квантовое распределение ключа, фазовое кодирование, состояние поляризации, электромагнитное поле, генератор импульсных напряжений.

The results of the effect of the electromagnetic field of an electric discharge on the operation of a quantum communication installation using phase coding of information are considered. When simulating close lightning discharges using a pulse voltage generator, a decrease in the rate of generation of the sifted key and an increase in quantum bit errors were recorded, however, the pulse effect was significantly shorter than the frequency of formation of the quantum key and could not have a significant effect on the operation of the line. In addition, heating of the control panel units as a result of prolonged operation can contribute to a change in the measured parameters of quantum communication.
Key words: quantum communication facilities, information phase coding, quantum key distribution, phase coding, polarization state, electromagnetic field, pulse voltage generator.

Электротехника, 2025, №4, стр. 36-41

Торцевая электрическая машина интегрального исполнения

МОДЕСТОВ К.А., ИВАНОВ Н.С., ЕГОШКИНА Л.А., КОВАН Ю.И.

Статья посвящена экспериментальным исследованиям торцевой электрической машины интегрального исполнения, в которой объединены функции индуктора синхронного магнитоэлектрического генератора и его приводной турбины. Приведены описание маломасштабной модели генератора и результаты осциллографирования выходного напряжения. Дана графическая интерпретация результатов расчета магнитного поля магнитной системы генератора с помощью пакета Quick Field при различных вариантах выполнения индуктора. Определены области применения рассмотренной электрической машины.
Ключевые слова: торцевая электрическая машина, синхронный магнитоэлектрический генератор, приводная турбина, индуктор, маломасштабная модель, расчет магнитного поля.

The article is devoted to experimental studies of an integral end-face electric machine, which combines the functions of an inductor of a synchronous magnetoelectric generator and its drive turbine. A description of a small-scale generator model and the results of oscillography of the output voltage are given. A graphical interpretation of the results of calculating the magnetic field of the magnetic system of the generator using the Quick Field package for various versions of the inductor is given. The fields of application of the considered electric machine are determined.
Key words: end-face electric machine, synchronous magnetoelectric generator, drive turbine, inductor, small-scale model, magnetic field calculation.

Электротехника, 2025, №4, стр. 42-46

Расчет индуктивности дросселей трехфазного активного выпрямителя напряжения в неподвижной и синхронной системах координат

ВОРОНИН И.П., ВОРОНИН П.А., БРЯНЦЕВА Е.С., ЯКОВЛЕВ И.Б.

Трехфазные активные выпрямители напряжения (АВН), как правило, строятся по схеме трехфазного мостового инвертора напряжения и широко используются в различных устройствах электропитания. Преобразователь может обеспечивать двунаправленный поток энергии в выпрямительном или инверторном режиме. В инверторе индуктивность на стороне переменного тока представляет собой индуктивность нагрузки, то есть является фактически заданной. В активном выпрямителе индуктивности дросселей, применяемых на стороне переменного тока, необходимо рассчитать предварительно; при расчетах следует обеспечить синфазное соответствие синусоидального тока и напряжения сети; оптимальное соотношение амплитуды и действующего напряжения на дросселе с напряжением сети, а также учесть влияние изменения активной мощности нагрузки. В зависимости от выбранной системы координат требуется соответствующее представление работы преобразователя математической моделью. В статье использованы модели АВН с эквивалентным преобразованием по мощности. Показаны способы выбора индуктивности дросселей АВН для инвариантных систем координат: неподвижной трехфазной и синхронной *d/q* системе.

Ключевые слова: активный выпрямитель напряжения, неподвижная система координат, синхронная система координат, корректор коэффициента мощности.

Three-phase active voltage rectifiers (AVR) are usually built according to the scheme of a three-phase bridge voltage inverter and are widely used in various power supply devices. The converter can provide bidirectional energy flow in rectifier or inverter mode. In an inverter, the inductance on the AC side represents the load inductance, that is, it is actually set. In an active rectifier, the inductance of the chokes used on the AC side must be calculated beforehand; when calculating, it is necessary to ensure the common-mode correspondence of the sinusoidal current and mains voltage; the optimal ratio of the amplitude and the operating voltage on the throttle with the mains voltage, and also take into account the effect of changes in the active load power. Depending on the selected coordinate system, an appropriate representation of the converter operation by a mathematical model is required. The article uses AVR models with equivalent power conversion. The methods of selecting the inductance of the AVR chokes for invariant coordinate systems are shown: a fixed three-phase and synchronous d/q system.
Key words: active voltage rectifier, fixed coordinate system, synchronous coordinate system, power factor corrector.

Электротехника, 2025, №4, стр. 47-52

Определение оптимальных вариантов подключения и комбинирования компенсирующих устройств в электрической сети напряжением 0,38 кВ

ЮНДИН М.А, ЮНДИН К.М., ИСУПОВА А.М.

Представлены результаты экспериментальных исследований различных вариантов подключения технических средств для ограничения тока в нулевом проводе к физической модели сети 0,38 кВ. При исследовании варьировались как места подключения технических средств к сети, так различные сочетания их подключения к модели сети. В качестве технических средств рассматривались трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда/двойной зигзаг с нулевым проводом», трансформаторная группа «звезда с нулевым проводом/треугольник» и индуктивная катушка. По результатам экспериментов сделаны выводы о наиболее рациональном

месте включения и сочетании технических средств в сети 0,38 кВ при несимметричной и нелинейной нагрузке.
Ключевые слова: электрические сети 0,38 кВ, компенсирующие устройства, потери мощности, несимметрия и несинусоидальность.

The results of experimental studies of various options for connecting technical means to limit the current in a zero wire to a physical model of a 0.38 kV network are presented. During the study, both the places of connection of technical means to the network and various combinations of their connection to the network model varied. A transformer with a «star/double zigzag with zero wire» winding connection scheme, a «star with zero wire/triangle» transformer group and an inductive coil were considered as technical means. Based on the experimental results, conclusions were drawn about the most rational switching location and combination of technical means in a 0.38 kV network with an asymmetric and nonlinear load.
Key words: electric networks 0,38 kV, compensating devices, power losses, asymmetry and non-sinusoidality.

Электротехника, 2025, №4, стр. 53-59

Расчет потерь в тонкостенных экранах индукционных электрических машин при воздействии смещенных магнитных полей

КИРЮХИН В.П., ВОРОНЮК И.Н.

Предложен метод расчета мощности, передаваемой тонкостенному электропроводящему экрану в рабочем зазоре электрической машины, магнитными полями возбуждения, сдвинутыми вдоль оси вращения и смещенными по фазе на угол в диапазоне от нуля до 180 электрических градусов. Расчетные формулы получены на базе уравнений Максвелла для квазистационарных явлений в двумерном приближении. Анализ выполнен при допущении, что магнитное поле, сцепленное с экраном, в пределах каждой рабочей зоны ограничено расчетной длиной воздушного зазора машины, имеет только радиальную составляющую, изменяющуюся вдоль окружности воздушного зазора по гармоническому закону и неизменную в радиальном направлении; магнитное поле возбуждения постоянно в пределах расчетной длины воздушного зазора каждой активной зоны, магнитная проницаемость стальных

участков магнитной системы бесконечно велика. На границах активных зон и лобовых (выходящих за пределы рабочей зоны) частей экрана приняты граничные условия в виде отношения компонент напряженности электрического поля в экране, что дало возможность рассматривать электромагнитные процессы в активных зонах экрана и лобовых частях независимо. Показано, что угловое смещение магнитных полей может приводить к существенному снижению потерь в экране. Разработанный алгоритм расчета позволяет оценить влияние основных параметров, определяющих распределение вихревых токов в экране и связанных с ними потерь мощности. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с опытными данными.
Ключевые слова: индукционная электрическая машина, вихревые токи, тонкостенный экран, лобовые части экрана, фазовое смещение полей, снижение потерь.

A method is proposed for calculating the power transmitted to a thin-walled electrically conductive screen in the working gap of an electric machine by magnetic fields of excitation shifted along the axis of rotation and phase-shifted by an angle in the range from zero to 180 electric degrees. The calculation formulas are derived on the basis of Maxwell's equations for quasi-stationary phenomena in a two-dimensional approximation. The analysis was carried out under the assumption that the magnetic field coupled to the screen within each working zone is limited by the estimated length of the air gap of the machine, has only a radial component that varies along the circumference of the air gap according to the harmonic law and remains unchanged in the radial direction; the magnetic field of excitation is constant within the estimated length of the air gap of each core. The magnetic permeability of the steel sections of the magnetic system is infinitely high. At the boundaries of the active zones and frontal (extending beyond the working area) parts of the screen, boundary conditions were adopted in the form of the ratio of the components of the electric field strength in the screen, which made it possible to consider electromagnetic processes in the active zones of the screen and frontal parts independently. It is shown that the angular displacement of magnetic fields can lead to a significant reduction in losses in the screen. The developed calculation algorithm makes it possible to evaluate the influence of the main parameters that determine the distribution of eddy currents in the screen and the associated power losses. The calculation results are in satisfactory agreement with the experimental data.
Key words: induction electric machine, eddy currents, thin-walled screen, frontal parts of the screen, phase shift of fields, loss reduction.

Электротехника, 2025, №4, стр. 60-68

Современное состояние и критические технологии в области электромеханики

ВАВИЛОВ В.Е.

На основе анализа публикаций показана глобальная актуальность технологий электромеханики, приведен аналитический материал о состоянии технологического суверенитета в данной области в РФ и мире. Обоснованы критические технологии для развития электромашиностроения РФ. Сформулированы научные проблемы современной электромеханики. Показана стратегическая приоритетность технологий электромеханики для обеспечения технологического лидерства Российской Федерации и текущее место Российской Федерации в области создания электродвигателей и электрогенераторов.

Ключевые слова: технологии электромеханики, электродвигатели, электрогенераторы, состояние и перспективы.

Based on the analysis of publications, the global relevance of electromechanical technologies is shown, analytical material on the state of technological sovereignty in this field in the Russian Federation and the world is presented. The critical technologies for the development of electrical engineering in the Russian Federation are substantiated. The scientific problems of modern electromechanics are formulated. The strategic priority of electromechanical technologies to ensure the technological leadership of the Russian Federation and the current place of the Russian Federation in the field of electric motors and electric generators is shown.

Key words: electromechanics technologies, electric motors, electric generators, state and prospects.

Электротехника, 2025, №4, стр. 69-70

Авторы номера

Электротехника, 2025, №4, стр. 71-10

НИПТИЭМ 60 лет