

Электроэнергетика в энергетической стратегии России

БУШУЕВ В.В.

В «Энергетической стратегии России (ЭС-2035 и ЭС-2050)» приоритетом обозначена глубокая электрификация страны. Необходимо сформировать новый «электрический мир» в сфере производства и потребления энергии, а энергетическая инфраструктура должна стимулировать создание территориально-промышленных кластеров, комплексное (централизованное и децентрализованное) энергоснабжение территорий, энергетическую интеграцию регионов в рамках нового энергоинформационного объединения ЕЭС-2.0. Развитие ЕЭС-2.0 будет идти как вширь – по пути интеграции с энергосистемами соседних государств, в первую очередь в рамках Единого экономического союза, и создания мирового энергетического объединения на территории Евразии, включая Сибирь и Дальний Восток России, страны Центральной и Южной Азии, Китая и Индии, так и вглубь территории страны – по пути развития энергетической инфраструктуры общего межрегионального «электрического мира».

Ключевые слова: электроэнергетика, энергетическая стратегия, «электрический мир», устойчивое развитие, интеграция

Deep electrification of the country is stated as one of priorities in the «Energy Strategy of Russia (ES-2035 and ES-2050)». It is necessary to form a new «electrical world» in the field of energy production and consumption, and the energy infrastructure should stimulate setting up of territorial-industrial clusters, combined (centralized and decentralized) supply of power to territories, and energy integration of regions within the framework of the new unified energy and information system UES-2.0. The UES-2.0 will be developed both in width by integrating it with the power systems of neighboring states, primarily within the framework of the Unified Economic Union and setting up the world energy pool on the Euro-Asian territory, including Siberia and Far East of Russia, countries of Central and South Asia, China, and India, and in depth of Russia's territory by developing the energy infrastructure of the common interregional «electric world».

Key words: electric power engineering, energy strategy, «electric world», sustained development, integration

Установившиеся режимы работы электроэнергетических систем с фазоповоротными устройствами (Часть 2)

ШАКАРЯН Ю.Г., ФОКИН В.К., ЛИХАЧЕВ А.П.

На примере электроэнергетической системы простой структуры, содержащей одну и две параллельно работающие линии электропередачи, представлены ее аналитические зависимости и режимные характеристики в установившемся режиме при наличии на передающем конце электропередачи различного типа фазоповоротных устройств (ФПУ), построенных на основе фазоповоротного трансформатора и на основе современной силовой электроники – объединенного регулятора потока мощности. Рассмотрены ограничения применения отдельных типов ФПУ и мероприятия по их ослаблению.

Выполнен анализ распределения потоков активной и реактивной мощностей внутри данных типов устройств с рассмотрением значений амплитуды и фазы тока на входе и выходе ФПУ. Получены соотношения, определяющие установленную мощность различных типов ФПУ, и при относительно равном влиянии на энергосистему проведено сопоставление как требуемых установленных мощностей, так и их стоимости.

Исследовано перераспределение потоков мощности между параллельно работающими линиями электропередачи при наличии фазоповоротных устройств на одной из них для случаев наличия и отсутствия ограничения токовой нагрузки ЛЭП по нагреву проводов.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, линия электропередачи, фазоповоротное устройство, фазоповоротный трансформатор, объединенный регулятор потока мощности

The analytic dependences and steady-state operating characteristics of an electric power system fitted with different types of phase-shifting devices (PSDs) installed at the power line sending end (implemented on the basis of a phase-shifting transformer and using a unified power flow controller made on the basis of modern power electronics) are presented taking as an example a simple power system containing one and two parallel power lines. Limitations imposed on the use of individual types of PSDs and measures for relieving them are considered. The distribution of active and reactive power flows inside these types of devices is analyzed taking into consideration the amplitude and phase of the current at the PSD inlet and outlet. Correlations for determining the installed capacity of different types of PSDs are obtained, and comparison of PSDs having relatively commensurable effects on the power system is carried out in terms of the required capacities and costs. The redistribution of power flows between parallel power lines with a PSD installed in one of them is investigated for the cases with and without constraints imposed on the power line current loading based on permissible heating of wires.

Key words: electric power system, power line, phase shifting device, phase shifting transformer, unified power flow controller

Интеллектуальная система для предотвращения крупных аварий в энергосистемах
ВОРОПАЙ Н.И., НЕГНЕВИЦКИЙ М., ТОМИН Н.В., ПАНАСЕЦКИЙ Д.А., КУРБАЦКИЙ В.Г.,
РЕТАНЦ К., ХЭГЕР У.

Надежная эксплуатация крупных объединенных энергосистем не может быть достигнута без полного понимания поведения системы во внештатных и аварийных условиях. Существующая практика управления отдельными частями системы без знания «полной картины» может потенциально привести к еще большим рискам крупных системных аварий. Предложен интеллектуальный подход, позволяющий свести к минимуму угрозу масштабных отключений в электроэнергетических системах. Предлагаемая система состоит из двух основных частей: нейросетевая предупредительная система оценки для раннего выявления предаварийных состояний в энергосистеме и иерархическая мультиагентная автоматика для предотвращения лавины напряжения. Эффективность интеллектуального подхода продемонстрирована на модифицированной 53-узловой

тестовой схеме IEEE.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, системная авария, противоаварийное управление, мультиагентная система, нейронная сеть Кохонена

Reliable operation of large interconnected power systems cannot be achieved unless the behavior the power system will show under off-design and emergency conditions is fully understood. The existing approach, according to which in individual parts of the entire system are controlled in the absence of information about the current situation in the entire system, may potentially even aggravate the risk of major system-wide accidents. An intellectual approach is proposed, the use of which can minimize the danger of large-scale disconnections in electric power systems. The proposed emergency control system consists of two main parts: a neural-network evaluation warning system for early revealing pre-emergency states in the power system and a hierarchical multiagent control system for preventing the development of voltage collapse in the system. The effectiveness of the proposed intellectual approach is demonstrated on the example of the modified 53-node test IEEE power system configuration.

Key words: electric power system, system-wide accident, emergency control, multiagent system, Kohonen neural network

Разрядные характеристики гирлянды изоляторов-разрядников с мультикамерной системой на напряжение 220 кВ

КОРЯВИН А.Р., ВОЛКОВА О.В., МИЛКИН Е.А.

Более половины повреждений воздушных линий (ВЛ) вызваны результатами грозовой деятельности. Для защиты ВЛ от грозовых перенапряжений в последнее время используются линейные разрядники на базе ограничителей перенапряжений с нелинейными резисторами как с искровыми промежутками разного исполнения, так и без них. Представлены результаты исследований разрядных характеристик гирлянды изоляторов-разрядников с мультикамерной системой на напряжение 220 кВ (ГИРМК-220). Установлено, что независимо от полярности импульсного напряжения и условий проведения испытаний (в сухом состоянии и под дождем) имеет место полное (штатное) срабатывание ГИРМК-220: путь формирования разряда пролегает строго по последовательной цепочке, состоящей из мультикамерных систем и искровых воздушных промежутков. Штатная работа защитного аппарата имеет место и при воздействии напряжения промышленной частоты как в сухом состоянии, так и под дождем. Показано, что ГИРМК-220 надежно защищает изоляции ВЛ 220 кВ не только от грозовых воздействий, но и успешно выполняет функцию линейной изоляции 220 кВ в сухом ее состоянии, под дождем, а также в условиях загрязнения и увлажнения.

Ключевые слова: воздушные линии, грозовые перенапряжения, линейная изоляция, изоляторы-разрядники, мультикамерная система

More than a half of faults occurred in overhead power lines are due to thunderstorm phenomena. In recent years, line surge arresters made on the basis of overvoltage limiters with nonlinear resistors, with and without spark gaps of various designs have been used to protect

overhead power lines from lightning surges. The article presents the results obtained from investigations of the discharge characteristics of a string of combined insulators/surge arresters with a multichamber system for a 220 kV voltage (a GIRMK-220 string). It has been found that, irrespective of the surge voltage polarity and test conditions (in dry state or in the rain), the GIRMK-220 system comes in action in full (state) scope: the discharge formation path evolves strictly along a sequential chain consisting of multichamber systems and air spark gaps. The protective apparatus shows its assigned (state) behavior also when subjected to a power frequency voltage both in dry state and in the rain. It has been demonstrated that not only does the GIRMK-220 apparatus reliably protect the insulation of a 220 kV overhead power line from lightning surges, but it also successfully performs the function of 220 kV line insulation in dry state, in the rain, and also when subjected to pollution and wetting.

Key words: overhead power lines, lightning surges, line insulation, combined insulators-surge arresters, multichamber system

Связь кажущегося и истинного зарядов частичных разрядов

ОВСЯННИКОВ А.Г., КОРОБЕЙНИКОВ С.М., ВАГИН Д.В.

Для исследования связи между кажущимся и истинным зарядами частичных разрядов (ЧР) проведены математическое моделирование и расчеты электрического поля в газовом пузырьке сферической формы, помещенном в масле между электродами. Варьировались размеры пузырька и его местоположение между электродами. Истинный заряд ЧР определялся интегрированием плотности зарядов, которые осели на внутреннюю поверхность пузырька после ЧР. Кажущийся заряд определялся как разница зарядов на электроде после и до возникновения ЧР. Установлено, что отношение кажущегося и истинного зарядов ЧР определяется преимущественно размером газового включения. Чем меньше диаметр включения (пузырька), тем больше становится отношение истинного заряда к кажущемуся заряду ЧР. Наоборот, кажущийся и истинный заряды ЧР близки друг к другу для пузырьков диаметром, сравнимым с размером межэлектродного промежутка, при этом поперечный размер электродов и пространственное расположение газового включения незначительно влияют на отношение истинного заряда к кажущемуся заряду ЧР.

Ключевые слова: трансформатор, изоляция, частичный разряд, кажущийся и истинный заряды, масляный канал, радиус пузырька

The electrical field in a spherically-shaped gas bubble placed in oil medium between the electrodes was mathematically modeled and numerically calculated for investigating interconnection between the apparent and true charges of partial discharges (PDs). Bubble sizes and bubble location between the electrodes were varied. The PD true charge was determined by integrating the density of charges that precipitated on the bubble inner surface after a PD. The apparent charge was determined as the difference between the charges on the electrode after and before the PD occurred. It has been found that the ratio between the PD apparent and true charges is predominantly determined by the gas inclusion size. The smaller the bubble radius, the larger the PD true-to-apparent charge ratio, which may reach a few

orders of magnitude. On the contrary, for bubbles the diameter of which is commensurable with the size of interelectrode gap, the PD apparent and true charges are close to each other. Displacement of the bubble in the interelectrode gap has an insignificant effect on the PD true to apparent charge ratio.

Key words: transformer insulation, partial discharge, apparent and true charges, oil channel, bubble radius

Моделирование параллельной работы двух статических преобразователей частоты, включенных по расщепленной схеме с уравнительным реактором
ЛЕВЧЕНКО А.В.

Предложено решение основных проблем, возникающих при параллельном включении двух статических преобразователей частоты. Рассмотрены линейная и кольцевая схемы фазовой автоподстройки частот задающих генераторов систем управления преобразователей. Реализована компьютерная модель параллельной работы двух статических преобразователей частоты по расщепленной схеме с уравнительным реактором. Обосновано применение схемы регулятора симметрии выходных токов параллельно работающих статических преобразователей частоты.

Ключевые слова: статический преобразователь частоты, параллельная работа, фазовая автоподстройка частоты, регулятор симметрии токов

An approach to solving the main problems arising when two static frequency converters are connected for parallel operation is proposed. A linear and a ring phase-lock-loop schemes for controlling the frequency of driving oscillators used in the converter control systems are considered. A computer model for simulating parallel operation of two static frequency converters connected according to a split arrangement with a current-balancing reactor is implemented. A circuit solution of the device for controlling the balance of output currents of parallel-operating static frequency converters is substantiated.

Key words: static frequency converter, parallel operation, automatic frequency control, current balance controller

Исследование роторного элемента орбитального привода муфты кривошипного пресса
ЛИТВИНЕНКО А.М., БОГДАНОВ А.О.

В кузнечно-прессовом оборудовании (КПО) большое распространение получили пневматические системы управления фрикционными муфтой и тормозом. Один из недостатков таких систем – необходимость использования для работы КПО двух энергоносителей: электрической энергии для привода главного электродвигателя и сжатого воздуха для управления (включения и отключения) муфтой и тормозом. Предложена электромеханическая система управления КПО, исключающая использование пневматических цилиндров, которые имеют низкий коэффициент

полезного действия и повышающая тем самым эффективность работы системы.

Проведено исследование роторного элемента орбитального привода муфты кривошипного пресса с помощью натурального эксперимента. По полученным результатам проведен факторный анализ и построена модель системы.

Ключевые слова: орбитальный привод, муфта кривошипного пресса, система управления, торцевой асинхронный двигатель

Pneumatic systems for control of friction coupling and brake have found wide use in press-forging equipment (PFE). One of disadvantages of such systems is that two energy carriers are required for PFE operation: electric energy for driving the main electric motor and compressed air for manipulating (connecting and disconnecting) the coupling and brake. An electromechanical system for control of PFE is proposed, the application of which results in more efficient operation of the system owing to exclusion of pneumatic cylinders as apparatuses having poor efficiency. The behavior of the crank press coupling planetary drive's rotor element is investigated using a full-scale experiment. A factorial analysis is carried out, and a system model is constructed based on the obtained results.

Key words: planetary drive, crank press coupling, control system, disk-armature induction motor

Энергоэффективные асинхронные двигатели с медной обмоткой ротора, отлитой под давлением (Обзор зарубежных публикаций)

ШУМОВ Ю.Н., САФОНОВ А.С.

На основе обзора публикаций выявлены тенденции развития энергоэффективных двигателей с медной обмоткой ротора, отлитой под давлением, показаны их конструктивные особенности, характеристики и сферы применения. Сделаны следующие основные выводы:

использование для обмотки ротора меди вместо алюминия позволяет увеличить КПД асинхронного двигателя до 3% и за счет этого присвоить ему более высокий класс энергоэффективности;

технология отливки медной обмотки ротора под давлением, несмотря на сложность, пригодна для крупносерийного производства;

применение асинхронных двигателей с медной обмоткой ротора перспективно для электромобилей и гибридных автомобилей;

асинхронные двигатели средней мощности с литой медной обмоткой ротора могут выполняться на сверхвысокие частоты вращения (более мин⁻¹).

Ключевые слова: асинхронный двигатель, короткозамкнутая обмотка ротора, литье меди под давлением, частота вращения, пусковой ток, пусковой момент, энергоэффективность

Trends in the development of energy-efficient motors with a pressure-cast copper rotor winding are revealed based on a review of publications, and their design features, characteristics, and application fields are shown. The following main conclusions have been drawn:

(i) With the induction motor's rotor winding made of copper instead of aluminum, the motor efficiency is increased by as much as 3%, due to which the motor can be brought to a higher class of energy efficiency.

(ii) Despite its complexity, the copper rotor winding pressure-cast technology is suitable for large-batch production.

(iii) Induction motors with a copper rotor winding hold promise for being used in electrocars and hybrid cars.

(iv) Medium-capacity induction motors with a cast copper rotor winding can be made for high rotation frequencies (more than 30103 1/min).

Key words: induction motor, short-circuited rotor winding, pressure casting of copper, rotation frequency, starting current, starting torque, energy efficiency.

Моделирование индукционного нагрева стальной проволоки

ДЕМИДОВИЧ В.Б., ЧМИЛЕНКО Ф.В., СИТЬКО П.А.

Исследования направлены на повышение энергосберегающей эффективности технологии индукционной термообработки стальной проволоки. Разработана модель расчета электромагнитного и температурного полей при нагреве проволоки в индукторах. Определены условия повышения эффективности термообработки проволоки, объединенной в пучок из нескольких нитей, а также необходимое минимальное значение частоты тока для различных диаметров проволоки. Даны рекомендации по проектированию промышленных установок.

Ключевые слова: индукционный нагрев, термообработка, стальная проволока, электромагнитное поле, температурное поле, электрический КПД

The described research work is aimed at making the technology for induction heat treatment of steel wire more energy efficient. A model for calculating the electromagnetic and temperature fields in a wire subjected to heating in inductors is developed. The conditions under which more efficient thermal treatment of wire united in a bundle of several threads is achieved are investigated. The minimal necessary frequency of current for different diameters of wire is determined. Recommendations on designing commercial-grade installations are given.

Key words: induction heating, thermal treatment, steel wire, electromagnetic field, temperature field, efficiency

Андрей Николаевич Ларионов (К 125-летию со дня рождения)

ГРИГОРЬЕВ Н.В.

Григорий Ефимович Поспелов (Некролог)