

Электричество, 2016, № 5, с. 4–8.

Выбор схемно-режимных ситуаций для проверки функционирования автоматического регулятора возбуждения

АРЦИШЕВСКИЙ Я.Л., КЛИМОВА Т.Г., СЕРОВ Д.М.

Представлена методика определения схемно-режимных ситуаций, необходимых и достаточных для расчета оптимальных настроек автоматического регулятора возбуждения (АРВ) и проверки функционирования регуляторов при этих настройках. Проверка функционирования АРВ синхронного генератора с выбранной настройки проводится по результатам оценки длительности и интенсивности переходных процессов режимных параметров при различных возмущениях в различных схемно-режимных ситуациях. Рассматриваются восемь различных схем, в том числе нормальная и ремонтные. Проверка реализуется в реальном времени. Необходимые ситуации определяются при анализе спектрального состава колебаний частоты при внутренних и внешних возмущениях при переборе в исходной схеме различных возможных сочетаний отключаемых и подключаемых линий и нагрузок. Необходимыми режимами и схемами являются ситуации, при которых наблюдаются существенные спектральные составляющие колебаний частоты на различных шинах станции и при внешних и внутренних возмущениях. Режимы с близкими спектральными представлениями целесообразно заменять одним. Достаточно рассмотреть все ситуации, при которых характеристики переходных процессов превышают допустимые значения. Например, должны быть рассмотрены все ситуации, при которых время переходных процессов больше 15 с. Из них выбираются необходимые ситуации.

Ключевые слова: энергосистема, переходные процессы, автоматический регулятор возбуждения, настройка

The technique of definition of the circuit and regime situations necessary and optimum settings of the automatic excitation controller (AEC) and check of functioning of regulators, sufficient for calculation, at these settings is presented in article. Check of functioning of AEC of the synchronous generator with the chosen control is made by results of an assessment of duration and intensity of transition processes of regime parameters at various indignations in various circuit and regime situations; 8 various schemes, including normal and repair, are considered. Check is realized in real time. Necessary situations are defined in the analysis of spectral structure of fluctuations of frequency at internal and external indignations at search in the

initial scheme of various possible combinations of the disconnected and connected lines and loadings. The necessary modes and schemes are situations at which essential spectral components of fluctuations of frequency on various tires of station are observed and at external and internal indignations. It is expedient to replace the modes with close spectral representations with one. It is enough to consider all situations at which characteristics of transition processes exceed admissible values. For example, all situations at which time of transition processes is more than 15 s have to be considered. Necessary situations get out of them.

Key words: power system, transients, automatic excitation regulator, adjustment

Электричество, 2016, № 5, с. 8-12.

Оценивание синусоидальной составляющей кратковременно наблюдаемого процесса короткого замыкания

ЛЯМЕЦ Ю.Я., ШИРОКИН М.Ю., МАРТЫНОВ М.В.

Рассмотрена задача выделения ортогональных составляющих тока короткого замыкания, наблюдаемого в течение времени, не превышающего четверти периода частоты сети. Скомпонована структура фильтра ортогональных составляющих того же типа, что и фильтр Фурье, но произвольного порядка. Основной акцент сделан на интервальном анализе процесса короткого замыкания. Интервальный фильтр ортогональных составляющих проходит обучение на имитационной модели наблюдаемого объекта. Обучение совершается в дискретном пространстве, координатами которого служат отсчеты наблюдаемой величины. Примеры относятся к частоте дискретизации 1 кГц, число отсчетов не превышает пяти. На комплексной области отображаются установившиеся процессы короткого замыкания, в то время как наблюдается только начальная часть переходных процессов. Отображаются только те состояния имитационной модели, которые в переходном режиме занимают заданную ячейку дискретного пространства наблюдаемых отсчетов. Сравниваются области отображения одного и того же множества режимов короткого замыкания интервальным фильтром и полученным ранее фильтром ортогональных составляющих произвольного порядка. Расхождение областей позволяет судить о смещении оценки, даваемой неинтервальным фильтром. В процессе своего обучения интервальный фильтр способен учесть даже такую трудноуловимую величину, как расхождение между моментом замыкания и последующим моментом считывания значения наблюдаемой величины.

Ключевые слова: короткое замыкание, ток, синусоидальная составляющая, фильтр ортогональных составляющих, интервальная неопределенность

The article deals with the problem of orthogonal component extraction from short-circuit current observed for a time not exceeding a quarter of a period of network frequency. The structure of orthogonal component filter was composed of the same as Fourier filter but of arbitrary order. The main emphasis is put on the interval analysis of short-circuit process. The interval filter of orthogonal component is trained by simulation model. The training is made in discrete space which coordinates are samples of observing value. Examples relate to sample rate of 1 kHz and the number of samples doesn't exceed five. The steady process of short-circuit process are reflecting onto the complex plane, but there is under observation of that initial part of them. Only those conditions of simulation model which occupy special cell of discrete space of observing samples in transient process are reflected. The reflections areas of the same set of short-circuit modes are compared by interval filter and previously considered orthogonal component filter of arbitrary order. The discrepancy of areas allows of estimating the validation shift given by non-interval filter. During its training the interval filter can consider even such a hard-to-detect value as a discrepancy between time of short-circuit and the further moment of observing value sample.

Key words: short-circuit, sine component, filter of orthogonal component, interval indeterminacy

Электричество, 2016, № 5, с. 13–27.

Статистические характеристики частоты узкополосного случайного процесса

РАБИНОВИЧ М.А.

Рассматривается импульсная (переключательная) модель измерений частоты суммы синусоидального сигнала и аддитивного гауссова шума. Приведены основные статистические характеристики (спектральная плотность мощности, распределение аномальных выбросов по длительности и т. д.) случайных колебаний частоты. Частота такого процесса, называемого узкополосным, имеет ряд характерных особенностей, которые обычно не учитываются в задачах электроэнергетики. Дана оценка их влияния на точность измерения частоты, в том числе при ее отклонении от номинального значения. Отмечается аналогия в процессах поведения фазы в системах связи и электроэнергетических системах. Приведен простой алгоритм повышения точности

измерений частоты.

Ключевые слова: энергосистема, частота, помеха, производная фазы, ошибка измерений, спектральная плотность, скачки фазы

An impulse (switched) model for sum of a sine-wave signal and additive Gaussian noise frequency measurements is considered. The main statistical characteristics (spectral density of power, distribution of abnormal spikes in duration, etc.) of random frequency fluctuations are presented. The frequency of such process, which is called a narrow-band one, has a number of characteristic features, which are usually not taken into consideration in problems related to electric power engineering. The effect these processes have on the frequency measurement accuracy including the cases when it deviates from its nominal value is estimated. An analogy between the phase behavior in communication systems and in electric power systems is pointed out. A simple algorithm for improving the frequency measurement accuracy is given.

Key words: power system, frequency, noise, phase derivative, measurement error, spectral density, phase steps

Электричество, 2016, № 5, с. 27–34.

Методика моделирования газотурбинных и парогазовых установок большой мощности при исследовании процессов в ЭЭС

БАХМИСОВ О.В., КУЗНЕЦОВ О.Н.

Рассмотрено моделирование развивающегося в России типа генерации – газотурбинных и парогазовых установок. Несмотря на установленный порядок ввода генерирующих мощностей, производители оборудования не раскрывают модели газовых турбин и их регуляторов, необходимых для исследования процессов в энергосистеме.

Проанализированы существующие модели газовых турбин «энергетического» класса и даны рекомендации по моделированию электрических станций с газовыми турбинами в зависимости от задач исследования.

Ключевые слова: энергосистема, газотурбинная установка, парогазовая установка, динамическое моделирование

The present paper is dedicated to gas turbine units and combined cycle power plants that are currently developing in Russia. Despite current procedures of installation of new generation capacities, vendors do not disclose models of gas turbines and their control systems, required

for power system studies. This work provides an analysis of present heavy-duty gas turbines models and recommendations for simulation of gas turbine-based power stations according to research task.

Key words: electric power system, gas turbine unit, combined-cycle power plant, dynamic simulation

Электричество, 2016, № 5, с. 35–44.

Сверхпроводящий шар в пульсирующем и вращающемся магнитном поле

КОВАЛЕВ Л.К., КОВАЛЕВ К.Л., КОНЕЕВ С. М., СЕМЕНИХИН В.С.

Структура современных объемных высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) материалов представляет собой отдельные сверхпроводниковые (СП) домены (гранулы), разделенные тонкими несверхпроводящими промежутками. Форма, размер и физические характеристики СП доменов определяются типом керамики и технологией ее изготовления. Однако в большинстве случаев при рассмотрении объемного ВТСП во внешнем магнитном поле такие домены можно в первом приближении рассматривать как отдельные ВТСП сфероиды. В статье рассматриваются электродинамические и гистерезисные процессы в ВТСП сфероиде, который находится в переменном магнитном поле. При этом предполагается, что ВТСП сфероид может иметь монодоменную или поликристаллическую структуру. Работа обобщает, уточняет и дополняет результаты исследований ВТСП шара, частично изложенные в [3].

Ключевые слова: ВТСП сфероид, магнитное поле, монодоменная и поликристаллическая структура, математическая модель, гистерезисные потери, аналитические и экспериментальные исследования

Structurally, modern bulk high-temperature superconducting (HTSC) materials contain individual superconducting (SC) domains (granules) separated by thin nonsuperconducting gaps. The shape, size, and physical characteristics of SC domains are determined by the type of ceramics and by its manufacturing technology. However, in analyzing a bulk HTSC placed in an external magnetic field, such domains can in a first approximation be regarded in the majority of cases as separate HTSC spheroids. The article considers electrodynamic and hysteresis processes in an HTSC spheroid placed in alternating magnetic field. It is supposed in the analysis that an HTSC spheroid may have a single-domain or polycrystalline structure. The article

generalizes, refines, and supplements the results from the investigations of an HTSC ball that are partially presented in [3].

Key words: HTSC spheroid, magnetic field, single-domain and polycrystalline structure, mathematical model, hysteresis losses, analytic and experimental investigations

Электричество, 2016, № 5, с. 45–52.

Об электроснабжении возможных поселений на Марсе

ЧЕЛУХИН В. А., АБРАМСОН Е. В.

Проведен анализ вариантов применения источников электроснабжения поселений на Марсе при его колонизации. Показана неприемлемость использования для этих целей применяемых на нашей планете традиционных источников электроэнергии (ветростанций, солнечных панелей, гидроэлектростанций, геотермальных источников энергии), из-за специфических особенностей климата и атмосферы на Марсе, особенно очень низких ночных температур и пылевых бурь. Предлагается на уровне изобретения и оценивается возможность использования нового способа получения электроэнергии на основе возобновляемого источника – перепада температур «день–ночь» для получения дешевой электроэнергии без нанесения экологического вреда природе и человеку. Показана схема устройства преобразователя, приведены принцип его работы, описание циклов и указаны возможные проблемы его практической реализации, а также пути их решения.

Ключевые слова: планета Марс, электроснабжение возможных поселений, перепад температур, источник энергии, коэффициент теплового расширения, разность температур, диэлектрик, термочувствительный материал

Different versions of using sources for supplying power to settlements on the Mars during its colonization are analyzed. It is shown that the traditional power supply sources applied on the Earth (wind power plants, solar panels, hydraulic power plants, and geothermal sources of energy) are not suitable for these purposes in view of the specific features of Martian climate and atmosphere, especially due to very low night temperatures and dust storms. A new method for obtaining electricity is proposed, and the possibility of applying it is estimated (both as a matter of invention), which is based on a renewable source using the difference between the day and night temperatures, for obtaining cheap electricity without inflicting environmental harm to the nature and human. The converter basic circuit is shown, the principle of its

operation is given, its working cycles are described, possible problems encountered in its practical implementation are pointed out, and ways of solving them are suggested.

Key words: Mars planet, power supply to possible settlements, temperature drop, energy source, thermal expansion coefficient, temperature difference, dielectric, heat sensitive material

Электричество, 2016, № 5, с. 53–58.

Сравнительный анализ параметров и характеристик управляемых выпрямителей для кораблей арктического региона

ПОСПЕЛОВ В.Я., КУЗЬМИН И.Ю., ЧЕРЕВКО А.И., ПОТЕГО П.И., ДУШКИН Ю.В., САКОВИЧ И.А.

Рассмотрены причины возникновения проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) в автономных электроэнергетических системах и отмечено, что основным способом улучшения ЭМС является повышение числа фаз выпрямления. Добиться этого можно за счет совершенствования силовой схемы преобразователя, заменив в ней трансформаторы с пульсирующими магнитными полями (ТПМП) трансформаторами с вращающимися магнитными полями (ТВМП). При реализации данного предложения была проведена опытно-конструкторская работа с участием СПО «Арктика» (АО «ОСК»), в результате которой созданы управляемые выпрямители (УВ) с ТВМП мощностью 4 и 12 кВт.

Сравнительный анализ параметров и характеристик выпрямителей, построенных по различным схемам, с более чем пятьюдесятью отечественными выпрямителями, построенными на базе ТПМП, показал, что по таким критериям, как коэффициент пульсаций по напряжению, коэффициент полезного действия, обобщенный коэффициент мощности, удельный объем и удельная масса, УВ с ТВМП превосходят УВ с ТПМП как по энергетическим, так и по массогабаритным характеристикам.

Ключевые слова: автономная электроэнергетическая установка, электромагнитная совместимость, управляемый выпрямитель, трансформатор с вращающимся магнитным полем, параметры и характеристики, сравнительный анализ

Factors giving rise to problems concerned with electromagnetic compatibility (EMC) in self-contained electric power systems are considered, and it is pointed out that increasing the number of rectifier pulses is the basic way for improving the situation with EMC in them. This can be achieved through sophisticating the converter power circuit arrangement by replacing the transformers with pulsing magnetic fields (PMFTs) by transformers with rotating magnetic

fields (RMFTs). For embodying this proposal, an experimental design work was carried out with participation of SPO Arktika (JSC OSK), as a result of which controlled rectifiers (CRs) equipped with RMFTs for capacities of 4 and 12 kW have been constructed. A comparative analysis of the parameters and characteristics of rectifiers constructed according to different arrangements on the basis of more than 50 domestically produced rectifiers equipped with RMFTs have shown that RMFT-based CRs outperform PMFT-based CRs in terms of both power performance and weight-and-dimension characteristics, such as voltage ripple coefficient, efficiency, generalized power factor, specific volume, and specific mass.

Key words: independent electric power installation, electromagnetic compatibility, controlled rectifier, transformer with rotating magnetic field, parameters and characteristics, comparative analysis

Электричество, 2016, № 5, с. 59–66.

Математические модели управляемых трехфазных асинхронных машин

МУСТАФАЕВ Р.И., ГАСАНОВА Л.Г.

Предлагаемые математические модели могут применяться для исследования управляемых асинхронных машин при их работе как в двигательном, так и в генераторном режимах. Выявлено, что управляемую асинхронную машину с короткозамкнутым ротором, имеющую преобразователь частоты в цепи статора, целесообразно моделировать в системе координат a_s, b_s, g_s , неподвижных в пространстве, что позволяет проще и эффективнее представлять в математической модели управляющие параметры – амплитуду и частоту напряжения статора. Получены уравнения, составляющие математическую модель трехфазной управляемой машины двойного питания, в которой преобразователь частоты питает обмотку ротора. Показано, что в этом случае целесообразно моделировать машину в системе координат a_r, b_r, g_r , вращающихся с частотой ротора машины ω_r . Результаты моделирования частотно управляемых асинхронных машин в различных режимах работы подтвердили достоверность и эффективность предложенных математических моделей. Отмечено, что их применение наиболее эффективно при исследовании несимметричных, неполнофазных режимов работы, а также при различных видах коротких замыканий на зажимах машины либо вблизи от мест их подключения к сети.

Ключевые слова: управляемые асинхронные машины, частотное управление, математическая модель, преобразователь частоты

The proposed mathematical models can be used for studying controlled asynchronous machines operating either as motors or generators. It is found that for studying a controlled asynchronous machine with a squirrel cage rotor fitted with a frequency converter feeding the stator circuit, it is advisable to write the equations of its mathematical model in the system a_s, b_s, g_s of coordinates as fixed in space. With such a model, the controlling parameters, namely the stator voltage amplitude and frequency, can be represented in a more efficient and easy way. Equations constituting the mathematical model of a three phase controlled double fed machine, in which the rotor winding takes power supply from a frequency converter, are obtained. It is shown that in this case it is advisable to model the machine in the system a_r, b_r, g_r of coordinates as rotating at the machine's rotor frequency ω_r . The results obtained from simulation of frequency adjustable asynchronous machines in different modes of their operation have confirmed that the proposed mathematical models yield a valid and efficient output. It is pointed out that the most efficient application of the proposed mathematical models lies in the field of studying unbalanced and incomplete phase modes of their operation, as well as modes involving various kinds of short circuit faults at the machine terminals or close to locations at which they are connected to the network.

Key words: controlled asynchronous machines, frequency control, mathematical model, frequency converter

Исаак Яковлевич Браславский (К 80-летию со дня рождения)

Алексей Иванович Инкин (Некролог)