

## **МЕХАНИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ПРОВОДНИКА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИМПУЛЬС**

**О.Б. Скворцов, В.И. Сташенко**

Проведен анализ экспериментальных исследований вибрационного отклика проводника на воздействие внешнего электрического импульса. Появление механических напряжений происходит до максимального увеличения тока через проводник. Увеличение тока ограничивается влиянием самоиндукции и скин-эффектом. Полярность вибрационного отклика зависит от полярности внешнего электрического импульса. Ударные отклики формируются в моменты начала переднего и заднего фронтов внешнего электрического импульса и имеют противоположные знаки. Влияние плавных изменений магнитного поля, создаваемого протеканием электрических токов через проводник, при этом оказывается незначительным при исследовании вибрационных процессов соответствующих области упругих деформаций материала проводника.

Ключевые слова: электрический импульс, удар, вибрация, деформация, электропластический эффект, релаксация, металл

## **MECHANICAL RESPONSE OF A CONDUCTOR TO AN ELECTRICAL PULSE**

**O.B. Skvortsov, V.I. Stashenko**

Analysis of experimental study of the vibration response of a conductor to the influence of an external electrical pulse is carried out. Appearance of mechanical stresses occurs before the maximum increase in the current through the conductor. An increase in the current is limited by the influence of self-induction and the skin effect. Polarity of the vibration response depends on the polarity of an external electrical pulse. The shock responses are formed at the beginning of the leading and trailing fronts of an external electrical pulse and have opposite signs. In this case, effect of the smooth changes in the magnetic field created by the flow of electric currents through the conductor turns out to be insignificant when studying the vibration processes corresponding to the elastic deformation region of the conductor material.

Keywords: electrical impulse, shock, vibration, deformation, electroplastic effect, relaxation, metal

## **РАЗРАБОТКА МГД ПЕРЕМЕШИВАТЕЛЯ С ПОПЕРЕЧНЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ ДЛЯ РАЗНЫХ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ**

**Т.А. Боякова, А.А. Авдулов**

В статье представлены результаты трехмерного моделирования электромагнитных процессов в магнитогидродинамическом (МГД) перемешивателе с поперечным магнитным потоком, расположенного с боковой стороны плавильной печи на расстоянии 400 мм от расплава алюминия. Уровень расплава в ванне в зависимости от стадии технологического процесса изменяется от 0,1 до 0,8 м. Целью работы являлось определение основных геометрических размеров и параметров работы индуктора, которые в дальнейшем могут быть использованы при разработке рабочего проекта МГД перемешивателя. Изначально при разработке были приняты ограничения в максимальной допустимой плотности тока в обмотке и величине тока на фазу равные 5 А/мм<sup>2</sup> и 750 А соответственно, что обусловлено использованием воздушной системы охлаждения и параметрами существующих промышленных источников питания. Исследования проводились с изменением частоты питающего обмотку напряжения от 0,1 до 1,5 Гц и различных уровнях расплава металла. МГД перемешиватель разработан с двумя вариантами обмотки для работы от напряжения 220 В при токе 750 А и напряжении 380 В при токе 435 А. Применение обмотки, рассчитанной на работу на более высоком напряжении, позволяет существенно уменьшить массогабаритные параметры индуктора за счет снижения объема необходимой меди.

Ключевые слова: МГД-перемешивание, поперечный магнитный поток

## **DEVELOPMENT OF AN MHD AGITATOR WITH A TRANSVERSE MAGNETIC FLUX FOR VARIOUS SWITCHING SCHEMES**

**T.A. Boyakova, A.A. Avdulov**

The article presents the results of a three-dimensional modeling of electromagnetic processes in a magnetohydrodynamic (MHD) agitator with a transverse magnetic flux located on the side of the melting furnace at a distance of 400 mm from the aluminum melt. The level of the melt in the bath varies from 0,1 to 0,8 m depending on the stage of the technological process. The purpose of the work is to determine the basic geometric dimensions and parameters of the inductor, which can be used in the development of the working design of the MHD agitator. Initially, during the development process, restrictions were adopted in the maximum permissible current density in the winding and the current per phase equal to 5 A/mm<sup>2</sup> and 750 A, respectively, due to the use of an air cooling system and the parameters of existing industrial power supplies. The investigation was carried out with a change in the frequency of the voltage feeding the winding from 0,1 Hz to 1,5 Hz and various levels of the metal melt. The MHD agitator is designed with two winding options for operation from the voltage of 220 V at the current of 750 A, and the voltage of 380 V at the current of 435 A. The use of the winding designed to operate at a higher voltage can significantly reduce the mass and size parameters of the inductor by reducing the volume of the copper required.

Keywords: MHD stirring, transverse magnetic flux

## **АНАЛИЗ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ОТВЕРЖДЕННЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ**

**И.В. Злобина, Н.В. Бекренев, Д.В. Кондратов**

На основе изучения интегральной температуры поверхности образцов отвержденного угле- и стеклопластика в процессе воздействия на них СВЧ электромагнитного поля в камере лучевого типа с неограниченным объемом определено влияние плотности потока (ППЭ) СВЧ энергии на уровень поглощенной неоднородными по составу и структуре материалами мощности. Установлено, что ППЭ и температура нагрева материалов с погрешностью не выше (10-13) % описываются степенными функциями. При этом значение ППЭ однозначно определяется расстоянием от плоскости раскрыва излучающего рупора до объекта воздействия. Изменение температуры носит более сложный характер и представляет собой линию, близкую к синусоиде, наложенной на график ППЭ. Максимумы и минимумы температуры достаточно хорошо коррелируют с пучностями и узлами электромагнитной волны. Показано, что для углепластика данная зависимость менее выражена, что связано со сложным характером перераспределения и поглощения мощности СВЧ излучения в диэлектрической матрице, армированной разнонаправленными проводящими структурами. При разработке СВЧ технологий и оборудования для обработки отвержденных материалов, в том числе композиционных, для получения требуемого эффекта необходимо учитывать расположение объекта воздействия относительно пучности (узла) электромагнитной волны и относительно плоскости раскрыва излучающего рупора.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, СВЧ электромагнитное поле, диэлектрический нагрев, скин-эффект, плотность потока энергии, поглощенная мощность, температура

## **ANALYSIS OF ABSORPTION OF THE MICROWAVE ELECTROMAGNETIC FIELD BY CURED POLYMER COMPOSITE MATERIALS DEPENDING ON THE ENERGY FLUX DENSITY**

**I.V. Zlobina, N.V. Bekrenev, D.V. Kondratov**

Based on the study of the integral surface temperature in the samples of cured carbon fiber and fiberglass in the process of their exposure to the microwave electromagnetic field in a beam-type chamber with an unlimited volume, the effect of the flux density of microwave energy (EFD) on the level of power absorbed by materials heterogeneous in composition and structure was determined. It has been established that the EFD and the heating temperature of materials with an error not higher than (10-13) % are described by the power functions. In this case, the value of the EFD is determined by the distance from the opening plane of the radiating horn to the object of impact. The temperature change is more complex and presents the line close to the sine wave superimposed on the graph of the EFD. The temperature maxima and minima correlate well with the antinodes and nodes of the electromagnetic wave. It is shown that for carbon fiber this dependence is less pronounced, which is due to a complex nature of the redistribution and absorption of microwave radiation power in the dielectric matrix reinforced with multidirectional conductive structures. When developing microwave technologies and equipment for processing the cured materials, including composite materials, in order to obtain the desired effect, it is necessary to take into account the location of the affected object relative to the antinode (node) of the electromagnetic wave and relative to the opening plane of the radiating horn.

Keywords: polymer composite materials, microwave electromagnetic field, dielectric heating, skin effect, energy flux density, absorbed power, temperature

## **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАЗОВОЙ ПОГРЕШНОСТИ ЦИФРОВЫХ ДАТЧИКОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ С НЕСТАНДАРТНЫМ ПРОТОКОЛОМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ОТСУТСТВИЕМ МЕТКИ ВРЕМЕНИ**

**М.А. Савиных, Д.В. Бухтоярова, С.В. Пономарев**

В данной работе рассмотрена задача контроля фазовой погрешности цифровых датчиков тока и напряжения, выдающих измерительные данные со строго заданной периодичностью, но не имеющих меток синхронизации времени, в отличие от цифровых датчиков тока и напряжения, имеющих стандартный протокол передачи данных МЭК 61850-9.2LE. Предложен метод, основанный на обработке сохраненных сигналов (цифровые осциллограммы) с последующими математическими расчетами. Для реализации метода требуются задатчики тока и напряжения, генерирующие синусоидальные сигналы в диапазонах, соответствующих рабочим диапазонам контролируемого датчика, управляемый цифровой ключ для коммутации потока данных с возможностью его синхронизации с генераторами тока и напряжения, а также

устройство сбора и обработки цифровых данных (например, персональный компьютер).

Ключевые слова: фазовая погрешность, метод контроля, протокол передачи данных, цифровой датчик тока и напряжения

## **DETERMINING PHASE ERRORS OF DIGITAL CURRENT AND VOLTAGE SENSORS WITH A NON-STANDARD DATA TRANSFER PROTOCOL AND ABSENCE OF A TIME STAMP**

**M.A. Savinykh, D.V. Bukhtoyarova, S.V. Ponomarev**

The main objective of the paper is the problem of phase error control for digital current and voltage sensors that produce data with a strictly specified frequency, but do not have time stamps, unlike digital current and voltage sensors that have a standard data transmission protocol IEC 61850-9.2LE. A method based on processing of stored signals (digital oscillograms) with subsequent mathematical calculations is proposed. To implement the method, the current and voltage generators are required to generate sinusoidal signals in the ranges corresponding to the operating ranges of the monitored sensor; a controlled digital key for switching the data transmission channel with a possibility for its synchronization with current and voltage generators, as well as a device for collecting and processing the digital data (for example, a personal computer).

Keywords: phase error, control method, data transmission protocol, digital current and voltage sensor

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КАРБИД-КРЕМНИЕВЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ**

**В.А. Шпенст, И.И. Растворова, Н.В. Краснов**

В статье рассмотрены основные причины и механизмы износа карбид-кремниевых полевых транзисторов с изолированным затвором (SiC MOSFET). Представлены основные параметры, которые могут служить индикаторами состояния транзистора, и приведены основные особенности и ограничения при их применении в данном качестве. На основе приведенных параметров рассмотрены наиболее эффективные и перспективные методы мониторинга состояния SiC MOSFET.

Ключевые слова: SiC транзистор, механизм износа, мониторинг, подзатворный оксид, силовой преобразователь

## **ANALYSIS OF MONITORING TECHNIQUES FOR CONDITIONING SILICON CARBIDE FIELD-EFFECT TRANSISTORS**

**V.A. Shpenst, I.I. Rastvorova, N.V. Krasnov**

The article considers the main reasons and mechanisms for degradation of silicon-carbide metal-oxide-semiconductor field-effect transistors (SiCMOSFET). The main precursors of the SiCMOSFET condition are also presented, as well as their important application specifics and limitations. Based on these parameters, the most efficient and perspective SiCMOSFET condition monitoring methods are reviewed.

Keywords: SiCMOSFET, degradation mechanism, monitoring, gate oxide, power converter

## **АНАЛИЗ ЗАТРАТ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ПОДСТАНЦИИ С УЧЕТОМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

**М.А. Назаров, А.Ю. Хренников**

В данной статье представлены результаты затрат энергоносителей при использовании различных систем утилизации тепловой энергии трансформаторного масла с учетом изменения температуры воздуха в течение года, а также изменения параметров масла в зависимости от его температуры.

Ключевые слова: энергосбережение, собственные нужды подстанции, энергоэффективность, снижение потерь

## **ESTIMATING MAIN UTILITY COSTS FOR THE OWN NEEDS OF A SUBSTATION WITH ACCOUNT FOR UTILIZATION OF HEAT OF POWER TRANSFORMERS**

**M.A. Nazarov, A.Yu. Khrennikov**

This article presents estimations of main utility costs when using various systems for utilization of thermal energy of the transformer oil, taking into account the changes in air temperature over the entire year, including the changes in oil parameters depending on its temperature.

Keywords: energy saving, substation  
auxiliary needs, energy efficiency, loss  
enhancement

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕСООСНОСТИ СТАТОРА И РОТОРА НА ФОРМИРОВАНИЕ КРИВОЙ ФАЗНОГО СТАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

**А.С. Саксонов, В.Н. Козловский**

В статье приводятся результаты экспериментальной проверки влияния несоосности статора и ротора на формирование кривой фазного статорного напряжения автомобильного генератора. Результаты, полученные в ходе эксперимента, показали, что под влиянием несоосности статора и ротора кривая фазного статорного напряжения автомобильного генератора искажается вследствие неравномерного распределения магнитной индукции в пространстве воздушного зазора электромеханического преобразователя. На основании полученных экспериментальных данных сделан вывод о том, что по форме кривой фазного статорного напряжения возможно диагностировать наличие несоосности статора и ротора с последующим определением вероятности безотказной работы подшипниковых узлов генератора.

Ключевые слова: автомобильный генератор, несоосность, подшипниковые узлы, вероятность безотказной работы

## **EXPERIMENTAL STUDY OF STATOR AND ROTOR MISALIGNMENT EFFECTS ON FORMATION OF THE STATOR PHASE VOLTAGE CURVE**

**A.S. Saksonov, V.N. Kozlovskiy**

The article presents the results of experimental verification of the stator and rotor misalignment effects on formation of the stator voltage curve of an automobile generator. The results obtained during the experiment showed that under the influence of the stator and rotor misalignment, the phase stator voltage curve of the automobile generator is distorted due to uneven distribution of magnetic induction in the space of the air gap of the electromechanical converter. Based on obtained experimental data, it is concluded that the shape of the phase stator voltage curve allows to diagnose the misalignment in the stator and rotor which, in its turn, can help to determine the probability of trouble-free operation of the generator bearing units.

Keywords: car generator, misalignment, bearing unit, probability of trouble-free operation

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВОДОЗАБОРНЫМ УЗЛОМ**

**А.А. Котюков, Д.В. Пьянзин**

В работе приведены результаты разработки системы управления водозаборным узлом. Представлена функциональная схема управления водозаборным узлом и описаны принципы ее работы. Особое внимание уделено построению шкафа управления насосной станцией второго подъема водозаборного узла. Также приведено описание разработанного программного обеспечения микрокомпьютера и панели оператора водозаборного узла.

Ключевые слова: водозаборный узел, насосная станция, шкаф управления, автоматизация

## **WATER INTAKE CONTROL SYSTEM**

**A.A. Kotiukov, D.V. Pyanzin**

The paper presents the results of designing the water intake control system. The functional scheme for the water intake control unit is presented, and the principles of its operation are described. The focus is made on the construction of the control cabinet to the second lift pumping station of the water intake facility. A description of the developed microcomputer software and the operator panel to the water intake unit is also provided.

Keywords: water intake unit, pumping station, control cabinet, automation

## **АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОДШИПНИКОМ С УЧЁТОМ ВАРИАЦИИ ЕГО ПАРАМЕТРОВ**

**А.В. Стариков, Д.Ю. Рокало, В.Д. Костюков**

В статье поставлена задача анализа устойчивости электромагнитного подшипника при смещении ротора от центра магнитной системы и вариации токов противоположных электромагнитов. Приведены математическая модель радиального электромагнитного подшипника, его расчётная схема с учётом

Ключевые слова: электромагнитный подшипник, напряжение питания, передаточная функция, смещение ротора, система управления, устойчивость

**A.V. Starikov, D.Yu. Rokalo, V.D. Kostyukov**

**Keywords:** electromagnetic bearing, supply voltage, transfer function, rotor displacement, control system, stability

## **ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА**

**И.И. Артюхов, Ю.Г. Щербаков, С.В. Молот, А.И. Земцов**

В статье рассмотрена возможность использования энергии солнца для электроснабжения установки охлаждения газа с частотно-регулируемым электроприводом вентиляторов. Для реализации этой идеи предлагается создать гибридную микросеть, в которой мощный источник постоянного тока, получающий энергию из сети 50 Гц, интегрирован через преобразователи напряжения с группой солнечных массивов. Результатом является уменьшение расхода приобретаемой электроэнергии.

Ключевые слова: система электроснабжения, охлаждение газа, вентиляторы, частотно-регулируемый электропривод, солнечные модули

## **HYBRID MICROGRID FOR POWER SUPPLY OF A FREQUENCY-CONTROLLED GAS COOLING UNIT**

**I.I. Artyukhov, Yu.G. Scherbakov, S.V. Molot, A.I. Zemtsov**

The paper considers a possibility for using solar energy to power supply a gas cooling plant with a frequency-controlled electric drive of fans. To implement this idea, a hybrid micro-grid is proposed, where a powerful direct current source, which receives power from the 50 Hz grid, is integrated via voltage converters with a group of solar arrays. The result is a reduction in the consumption of purchased electricity.

Keywords: power supply system, gas cooling, fans, variable frequency drive, solar modules