

## **Пути увеличения пропускной способности воздушной линии Итат–Экибастуз–Челябинск**

БУШУЕВ В.В., ЗИЛЬБЕРМАН С.М., КРАСИЛЬНИКОВА Т.Г., САМОРОДОВ Г.И.

Рассмотрены варианты повышения пропускной способности линии Итат–Экибастуз–Челябинск в габаритах 1150 кВ, работающей в настоящее время на напряжении 500 кВ, до 3000 МВт. Первый вариант осуществляется переводом этой линии на напряжение 1150 кВ по компенсированной схеме, а во втором варианте используется полуволновая технология передачи электроэнергии. Дано технико-экономическое сравнение этих вариантов.

**Ключевые слова:** линия в габаритах 1150 кВ, пропускная способность, компенсированная электропередача, полуволновая электропередача, технико-экономические показатели

Possible options are considered for increasing the transmission capacity of the Itat–Ekibastuz–Chelyabinsk power line physically sized as a 1150 kV power line, which presently operates at a 500 kV voltage, to 3000 MW. The first option consists of shifting this line to operate at a 1150 kV voltage using an appropriate reactive power compensation arrangement. The second option implies using the half-wavelength power transmission technology. A technical-economic comparison of these options is given.

**Key words:** power line physically sized as a 1150 kV line, transmission capacity, compensated power line, half-wavelength power transmission, technical- economic indicators

## **О расчете длительных переходных процессов в энергосистемах I**

ЛОХАНИН Е.К., РОССОВСКИЙ Е.Л.

Показано, что при численном интегрировании полной системы дифференциальных уравнений синхронной машины увеличение расчетного интервала возможно только после устранения жесткости в уравнениях демпферных контуров. Для этой цели целесообразно использовать модель демпферных контуров, учитывающую по одному эквивалентному контуру в поперечной и продольной осях. Отмечено, что утверждения о целесообразности перехода к расчетной модели среднего движения при расчетах длительных переходных процессов являются ошибочными. Разработана методика расчета длительных переходных процессов, удовлетворяющая требованиям промышленного применения. Приведены примеры расчетов длительных переходных режимов по предложенной методике, воспроизводящих аварии в энергосистемах ОЭС Урала и Татарстана и обеспечивающих их исследование.

**Ключевые слова:** энергосистемы, переходные процессы, регулирование частоты и мощности, расчет

It is shown that the calculation interval of time on which a full system of differential equations of a synchronous machine is numerically integrated can be increased only after removing the rigidity in the equations of damping circuits. To this end, it is advisable to use a model of damping circuits that takes into account by one equivalent circuit in the direct and quadrature axes. It is pointed out that statements in favor of making a shift to the model of average motion in performing calculations of long-term transients are incorrect. A procedure for calculating long-term transients complying with the requirements of industry-grade application is developed. Example calculations of long-term transients carried out using the proposed procedure are presented, in which accidents in the power systems of Ural and Tatarstan are simulated and which allow these accidents to be investigated.

**Key words:** power systems, transients, control of frequency and power, calculation

## **Результаты экспериментальной проверки эффективности работы гасителя вибрации ГПГ-1,6-11-450 на проводе АС 150/24**

ТРОФИМОВ С.В.

Представлены результаты экспериментальной проверки эффективности работы гасителя вибрации ГПГ-1,6-11-450 на проводе АС 150/24, позволяющие определить границы диапазона частот колебаний провода, в котором гаситель вибрации защищает провод от усталостных повреждений. Методика испытаний соответствует рекомендациям стандарта МЭК по испытаниям гасителей вибрации № 61897. Полученные результаты уточняют диапазон частот, в котором гаситель вибрации защищает провод от усталостных повреждений.

**Ключевые слова** : провода, вибрация, гаситель вибрации, эффективность работы гасителя

Results from experiments on checking the performance of a GPG-1.6-11-450 vibration suppressor installed on an AS 150/24 wire are presented. The use of the obtained results makes it possible to determine the band of wire vibration frequencies in which the vibration suppressor protects the wire from fatigue damage. The test procedure is in conformity with the recommendations of the IEC 61897 standard on testing vibration suppressors. The obtained results give a more accurate assessment of the frequency band in which the vibration suppressor protects the wire from fatigue damage.

**Key words**: wires, vibration suppressor performance efficiency

**Улучшение гармонического состава токов и напряжений тиристорного выпрямителя посредством использования токов нулевой последовательности при управлении**  
АСЛАН-ЗАДЕ А.Г.

Переход от генераторов постоянного тока к тиристорным выпрямителям крайне негативно отразился на гармоническом спектре напряжений и токов. С ним связано возникновение новых научных направлений, например, фазоступенчатого регулирования, нового критерия качества напряжения и тока — электромагнитной совместимости, нового характера работы выпрямителя — режима прерывистых токов. В статье рассматривается беспрецедентная возможность получения в качественно новом трехфазном выпрямителе регулируемых тиристорами напряжений и токов с постоянным уровнем высших гармоник, а также необычная особенность его управляемости — проявление ранее неизвестного свойства тока нулевой последовательности по замещению управляющих функций тиристором. Задача статьи — раскрытие физической сущности обнаруженного явления на одном из заведомо сложных примеров его проявления.

**Ключевые слова**: тиристорный выпрямитель, высшие гармоники, управление, ток нулевой последовательности

The changeover from using DC generators to the use of thyristor rectifiers had an extremely negative effect on the harmonic spectrum of voltages and currents. This changeover gave rise to new scientific lines, e.g., stepped-phase control, new quality standards on voltage and current generally termed as electromagnetic compatibility, and a new type of rectifier operation in the mode of intermittent currents. An unprecedented possibility of obtaining thyristor-controlled voltages and currents with a constant level of higher harmonic components in a qualitatively new three-phase rectifier is considered together with an unusual specific feature of its controllability, namely, the previously unknown property of a zero-sequence current to replace the control functions of thyristors. An attempt is made to disclose the physical essence of the revealed phenomenon on one of a fortiori intricate examples of its manifestation.

**Key words**: thyristor rectifier, higher harmonic components, control, zero-sequence current

**Влияние поверхностного эффекта на характеристики электродинамических сепараторов с бегущим магнитным полем**

КОНЯЕВ А.Ю., КОНЯЕВ И.А., НАЗАРОВ С.Л.

Рассмотрены электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем (с линейным или цилиндрическим индуктором). Выполнен анализ характеристик таких машин с учетом краевых эффектов в коротком вторичном элементе. Особое внимание уделено явлению поверхностного эффекта во вторичном элементе. Исследования показали существенное влияние поверхностного эффекта на эффективность электродинамических сепараторов с бегущим магнитным полем, что следует учитывать при выборе конструкций и параметров сепараторов. Обнаруженные закономерности показывают, что сепараторы на основе линейных индукционных машин предпочтительны при сепарации металлосодержащих смесей с фракциями металлических включений, большими 40–50 мм. Сепараторы с вращающимися цилиндрическими индукторами целесообразно использовать при сепарации мелкофракционных смесей, а при обработке крупных металлосодержащих отходов эффективность таких сепараторов снижается.

**Ключевые слова:** электродинамическая сепарация, бегущее магнитное поле, вторичный элемент, поверхностный эффект

Electrodynamic separators with traveling magnetic field (fitted with a linear or cylindrical inductor) are considered. The performance characteristics of such machines are analyzed taking into account the edge effects in a short secondary element. Special attention is paid to the surface effect phenomenon in the secondary element. Investigations showed that the surface effect has an essential influence on the performance of electrodynamic separators with traveling magnetic field, which should be taken into account in selecting the designs and parameters of such separators. The revealed regularities show that separators constructed on the basis of linear induction machines are preferable for separating metal-containing mixtures with fractions of metal inclusions larger than 40–50 mm in size. As regards separators fitted with rotating cylindrical inductors, it is advisable to use them for separating fine-fraction mixtures; whereas in processing large fractions of metal-containing wastes these separators show less efficient performance.

**Key words:** electrodynamic separation, traveling magnetic field, secondary element, surface effect

### **Синтез законов управления режимами работы автоматизированных вибрационных установок**

ШЕСТАКОВ В.М., БЕЛОКУЗОВ Е.В., ЕПИШКИН А.Е.

Разработан синтез законов управления многороторными вибрационными установками. Предложено обобщенное математическое описание электромеханических систем (ЭМС), создана методика мехатронного управления взаимосвязанными ЭМС, апробированная на имитационной модели двухроторной установки в заданной области квазиустановившихся режимов.

**Ключевые слова:** вибрационные установки, электромеханические системы, математические модели, синтез законов управления

A synthesis of laws for control of multirotor vibration installations is developed. A generalized mathematical description of electromechanical systems is proposed, and a procedure for mechatronic control of interconnected electromechanical systems is worked out, which was approbated on a model simulating a two-rotor installation in the specified region of quasi steady-state operating conditions.

**Key words:** vibration installations, electromechanical systems, mathematical models, synthesis of control laws

### **Магнитодиэлектрические поглотители СВЧ-излучения на основе ферромагнитных соединений**

СЕРЕБРЯННИКОВ С.В., РУМЯНЦЕВ П.А., ЧЕРКАСОВ А.П., ЕРЕМЦОВА Л.Л.

Рассмотрено создание радиопоглощающих покрытий для диапазона частот 8–55 ГГц на основе композиционных магнитодиэлектриков, в которых для поглощения электромагнитного излучения используются гексаферриты с различным значением поля магнитокристаллической анизотропии. Исследовано влияние проводящих углеродных включений различной структуры на поглощение электромагнитного излучения. Показано, что введение их в состав композита приводит к увеличению поглощения излучения. Получены широкополосные радиопоглощающие покрытия для диапазона частот 36–55 ГГц. **Ключевые слова:** помехозащищенность устройств, СВЧ-диапазон, радиопоглощающее покрытие, гексаферриты, исследования

The article describes the development of radio wave absorbing coatings for the frequency band 8—55 GHz made on the basis of composite magnetodielectrics, in which hexaferrites with different values of magnetocrystalline anisotropy are used to absorb electromagnetic radiation. The influence of conducting carbon inclusions of different structures on the absorption of electromagnetic radiation is investigated. It is shown that introduction of such inclusions in the composite results in higher absorption of radiation. Wide-band radio wave absorbing coatings for the frequency band 36—55 GHz are obtained.

**Key words:** noise immunity of devices, microwave band, radio wave absorbing coating, hexaferrites, investigations

### **Координация изоляции сухих трансформаторов 110 кВ**

ЛАРИН В.С.

Сухие трансформаторы наиболее полно отвечают современным требованиям взрыво- и пожаробезопасности и экологической чистоты, и в настоящее время достигнут заметный прогресс в деле повышения их класса напряжения вплоть до 35 кВ. Вместе с тем дальнейшее повышение класса напряжения и создание сухих трансформаторов класса напряжения 110 кВ сдерживается существующими нормами электрической прочности изоляции, установленными более 50 лет назад для масляных трансформаторов. Рассмотрены основы принятого в отечественной практике метода координации изоляции и вопросы снижения уровней изоляции сухих трансформаторов. Сделан анализ зарубежной стандартизации в части испытаний изоляции трансформаторов на наибольшее рабочее напряжение 121–126 кВ. Рассмотрены характеристики современных защитных аппаратов и предложены уровни изоляции линейных зажимов и нейтрали сухих трансформаторов 110 кВ. Приведены предложения по объему и методам испытаний электрической прочности изоляции сухих трансформаторов класса напряжения 110 кВ.

**Ключевые слова:** сухие трансформаторы, прочность изоляции, напряжение, методы испытаний

Dry-type transformers meet the modern explosion-and-fire safety and environment protection requirements to the fullest extent, and noticeable progress has been achieved in raising their voltage class up to the 35 kV level. At the same time, the existing standards specifying the requirements for electric strength of insulation, which were established more than 50 years ago for oil-immersed transformers, create obstacles for further increase of the voltage class and development of dry-type transformers for the 110 kV voltage class. The principles of the insulation coordination method adopted in the Russian electric power industry are considered together with matters concerned with decreasing the insulation levels of dry-type transformers. Foreign standards on testing the insulation of transformers designed for the maximal operating voltage equal to 121—126 kV are analyzed. The characteristics of modern protective apparatuses are considered, and the insulation levels for the line and neutral terminals of dry-type 110-kV transformers are proposed. Proposals

on the scope and methods of testing the electrical strength of the insulation of dry-type transformers for the 110 kV voltage class are given.

**Key words:** dry-type transformers, insulation strength, voltage, test methods

**Владимир Козьмич Зворыкин**

(К 125-летию со дня рождения)

ГРИГОРЬЕВ Н.Д.

**Камо Серопович Демирчян**

(К 85-летию со дня рождения)

**Лев Николаевич Макаров**

(К 75-летию со дня рождения)

**Игорь Николаевич Копылов**

(Некролог)