

## СОДЕРЖАНИЕ № 2, 2010

**Кочубей Т.В., Астахов В.И.** Моделирование системы электродинамического подвеса и анализ ее силовых характеристик

**Попов А.П., Власов А.Ю., Винокуров М.Р.** Проникновение электромагнитного поля во внутреннюю поверхность ферромагнитной проводящей трубы

**Мелентьев В.С.** Аппроксимационный подход к определению мощности гармонических сигналов

**Лобов Б.Н.** Формализация выбора способов гашения дуги в низковольтных электрических аппаратах

**Саттаров Р.Р., Исмагилов Ф.Р.** Исследование виброударного режима в электромеханических реактивных преобразователях

**Епутаев Г.А., Данилова М.Г., Варламов Б.С., Хабалов Д.Н.** Исследование движения магнитных частиц в ленточном магнитном сепараторе для мокрого обогащения при стадийном выведении магнетита

**Орлов Ю.А.** Структурные схемы математического моделирования управления многомоторным электроприводом с тяговыми двигателями независимого возбуждения

**Мещеряков В.Н., Пешков Д.В.** Система управления автономным инвертором тока с релейным формированием напряжения на конденсаторах выходного фильтра для частотно-управляемых асинхронных электроприводов

**Манжула В.Г.** Структурный синтез системы управления электропитанием автономного объекта с динамическим распределением ограниченного энергоресурса

**Полетаев И.А.** Определение дискретных передаточных функций в моделях электротехнических систем с транспортным запаздыванием методом его компенсации

**Лямец Ю.Я., Кержаев Д.В., Нудельман Г.С., Романов Ю.В.** Граничные режимы в методике обучения релейной защиты. Часть 2. Обучение реле сопротивления

**Салтыков В.М., Шастин П.А.** Методика оптимизации работы комплекса линий разлива металла с позиции минимума расхода электроэнергии

**Арцишевский Я.Л., Журавлев Д.М.** Мониторинг частоты при измерении электрических параметров режима энергосистемы в векторной форме

### Сообщения

**Высоцкий А.В., Кузнецов П.К.** Применение измерительного преобразователя «сопротивление – ток» для повышения помехоустойчивости систем регистрации температуры

### Учебно-методические вопросы

**Иванов-Смоленский А.В., Гончаров В.И., Тейн Наинг Тун.** Применение конечно-элементных моделей при учебном проектировании синхронных машин

**Литвиненко А.М.** Классификация электромеханических преобразователей

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДВЕСА И АНАЛИЗ ЕЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

*Т.В. Кочубей, В.И. Астахов*

*Предлагается математическая модель системы электродинамического подвеса на основе интегро-дифференциального уравнения. Выполняется анализ влияния геометрических параметров и расположения магнитов относительно направляющего проводника кругового профиля на силовые характеристики подвеса.*

*Ключевые слова:* электродинамический подвес, вихревые токи, интегро-дифференциальное уравнение, сила левитации, сила торможения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шимони К. Теоретическая электротехника : пер. с нем. М.: Мир, 1964. 773 с.
2. Титчмарш Е. Введение в теорию интегралов Фурье : пер. с англ. М.: ОГИЗ
3. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. М.: Наука, 1973. 228 с.
4. Kogenev B.G. Bessel Functions and their Applications, Taylor&Francis, London, 2002. 276 p.
5. Астахов В.И. Математическое моделирование инженерных задач в электротехнике : учеб. пособие. Новочеркасск: НГТУ, 1994. 192 с.
6. Кочин Н.Е. Векторный анализ и начала тензорного исчисления. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 425 с.
7. Майборода А.О. Способ доставки грузов в космос с помощью двигателей малой тяги на основе орбитальных тросовых систем // Космос для человечества: матер. 1-й конф. МАА-РАКЦ, 21–23 мая 2008.

*Поступила в редакцию*

*25 мая 2009 г.*

**Кочубей Татьяна Владимировна** – инженер-программист кафедры «Прикладная математика» Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института), младший научный сотрудник лаборатории энергетики и электротехники Южного научного центра РАН. E-mail: [tatiko84@googlemail.com](mailto:tatiko84@googlemail.com)  
**Астахов Владимир Иванович** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Прикладная математика» Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института), зав. лабораторией энергетики и электротехники Южного научного центра РАН. E-mail: [v.astakhov@mail.ru](mailto:v.astakhov@mail.ru)

---

## ПРОНИКНОВЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ВО ВНУТРЕННЮЮ ПОВЕРХНОСТЬ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПРОВОДЯЩЕЙ ТРУБЫ

*А.П. Попов, А.Ю. Власов, М.Р. Винокуров*

*Представлено решение линейной задачи расчета электромагнитного поля в системе проводник, по которому протекает синусоидальный ток, охваченный ферромагнитной проводящей трубой (кольцом). Приведённые аналитические исследования подтверждены экспериментальными данными, что позволяет с достаточной степенью точности определять характеристики ферромагнитных проводящих сред.*

*Ключевые слова:* электромагнитное поле, система «проводник – ферромагнитное кольцо», функции Бесселя, сильновыраженный поверхностный эффект, теорема Умова – Пойнтинга, ЭДС сигнальной обмотки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Нейман Л.Р. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах. Л.: Госэнергоиздат, 1949. 190 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. М.: Изд-во: Гардарики. 2003. 317 с.

*Поступила в редакцию после доработки*

*26 июня 2009 г.*

**Попов Анатолий Петрович** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» Омского государственного технического университета. Тел. 8(3812)23-85-48. E-mail: [popov@omgtu.ru](mailto:popov@omgtu.ru)  
**Власов Анатолий Юрьевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Теоретическая и общая электротехника» Омского государственного технического университета. E-mail: [ayuvlas@omgtu.ru](mailto:ayuvlas@omgtu.ru)  
**Винокуров Михаил Романович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электротехника и техническая кибернетика» Ростовской государственной академии сельскохозяйственного машиностроения. E-mail: [vmr125@mail.ru](mailto:vmr125@mail.ru)

---

## АППРОКСИМАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОЩНОСТИ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

## В.С. Мелентьев

*Рассматриваются вопросы применения аппроксимационного подхода к определению активной и реактивной мощности квазидетерминированных сигналов. Предлагаются методы определения мощности, обеспечивающие уменьшение времени измерения.*

**Ключевые слова:** активная и реактивная мощности, аппроксимационный подход, время измерения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Батищев В.И., Мелентьев В.С. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики. М.: Машиностроение. 2007. № 1. 393 с.
2. Пат. 2075754 РФ, МКИ6 G 01 R 21/06. Способ измерения активной и реактивной составляющих мощности в цепях синусоидального тока и устройство для его осуществления / В.С. Мелентьев, В.С. Баскаков, В.С. Шутов (РФ). № 4899453/28; заявл. 08.01.91; опубл. 20.03.97, Бюл. № 8.
3. Пат. 2039358 РФ, МКИ6 G 01 R 21/00. Способ измерения активной и реактивной составляющих мощности в цепях переменного тока с установившимся синусоидальным режимом/В.С. Мелентьев, В.С. Шутов, В.С. Баскаков (РФ). №4892386/10; заявл. 29.12.90; опубл. 09.07.95. Бюл. № 19.
4. Батищев В.И., Мелентьев В.С. Цифровые методы измерения интегральных характеристик периодических сигналов. Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2002. 96 с.

*Поступила в редакцию после доработки*

*5 октября 2009 г.*

**Мелентьев Владимир Сергеевич** – д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой информационно-измерительной техники Самарского государственного технического университета. Тел. (846) 3-37-08-65. E-mail: [vs\\_mel@mail.ru](mailto:vs_mel@mail.ru)

---

УДК 621.318

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ВЫБОРА СПОСОБОВ ГАШЕНИЯ ДУГИ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

*Б.Н. Лобов*

*Сравниваются между собой различные способы и устройства гашения электрической дуги на контактах низковольтных электрических аппаратов. Сравнение осуществляется по основным параметрам технического задания и критериям оптимальности.*

**Ключевые слова:** дугогасительное устройство, электрический аппарат, критерий оптимальности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Rauch M. Maschinelle Berechnung trans-latorischer elektromagneto mechanischer Sistem // Wiss. Zeitschrift der TH Karl- Marx-Stadt. 1974. S.326-332.
2. Таев И.С. Электрические контакты и дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения. М.: Энергия, 1973. 423с.
3. Витенберг М.И. Расчет электромагнитных реле. Л.: Энергия, 1975. 319с.
4. Соболев С.Н. Расчет и конструирование низковольтной электрической аппаратуры. М.: Высш. шк., 1972. 264 с.
5. Таев И.С. Электромагнитные аппараты автоматики и управления. М.: Высшая школа, 1975. 224 с.
6. Витенберг М.И. Расчет электромагнитных реле для аппаратуры автоматики и связи. М.: Госэнергоиздат, 1961.
7. Таев И.С. Электрические аппараты управления. М.: Высшая школа, 1969. 444 с.
8. Кузнецов Р.С. Аппараты распределения электрической энергии на напряжение до 1000 В. М.: Энергия, 1970.
9. Егоров Е.Г. Испытания и исследования низковольтных коммутационных электрических аппаратов. Чебоксары.: Изд-во Чуваш. ун-та, 2000. 448 с.
10. Брон О.Б. Электрическая дуга в аппаратах управления. М.: Госэнергоиздат, 1954.
11. Сотсков Б.С. Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств. М.: Энергия, 1965.
12. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988. 720с.
13. Кузнецов Р.С. и др. Новая дугогасительная камера деионного типа // Электротехника. 1970. №3.
14. Брон О.Б., Сушков Л.К. Регулирование потоков плазмы в дугогасительных устройствах низковольтных аппаратов // Электротехника. 1970. № 3.
15. Буткевич Г.В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей. М.: Высш. шк., 1967.
16. Таев И.С. Электрическая дуга в аппаратах низкого напряжения. М.: Энергия, 1965.
17. Залесский А.М. Электрическая дуга отключения. Л.: Госэнергоиздат, 1963.
18. Вакуумные высокочастотные реле/ М. Кулаков, Н. Кузнецов, А. Коновалов, А. Ольховой. nak 53 @ mail.ru/
19. Лобов Б.Н., Белокопытов С.Л., Ким Р.А. Метод равнозначных критериев и его применение для выбора конструкции дугогасительного устройства // Изв. вузов. Электромеханика. 2004. № 1.

*Поступила в редакцию*

*25 ноября 2009 г.*

**Лобов Борис Николаевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрические и электронные аппараты» Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института). Тел. (8635)25-51-13.

---

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОУДАРНОГО РЕЖИМА В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ РЕАКТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

*Р.Р. Саттаров, Ф.Р. Исмагилов*

*Исследованы вибрационные электромеханические реактивные преобразователи с возбуждением от провода линии электропередачи. Проведен анализ установившегося виброударного режима методом приспособывания.*

**Ключевые слова:** электромеханические реактивные преобразователи, статические тяговые характеристики, виброударный режим, метод приспособывания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Исмагилов Ф.Р., Саттаров Р.Р. Электромагнитные процессы в электромеханических демпфирующих элементах // *Электричество*. 2008. № 10. С. 46 – 52.
2. Хитерер М.Я., Овчинников И.Е. Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения. СПб.: Изд-во [Корона-Принт](#), 2006. 368 с.
3. Исмагилов Ф.Р., Саттаров Р.Р. Электромеханические преобразователи для вибрационной техники. М.: Машиностроение, 2008. 276 с.
4. Пат. 2251196 РФ, МКИ Н 02 К 33/00, 33/14. Электромагнитный вибратор / Ф.Р. Исмагилов, И.Х. Хайруллин, Р.Р. Саттаров, А.В. Трофимов, Е.А. Полихач. Заявл. 27.10.2003; опубл. 27.04.2005, Бюл. № 12.
5. Пат. 2309505 РФ, МКИ Н 02 G 7/16. Устройство для очистки проводов линий электропередач / Ф.Р. Исмагилов, И.Х. Хайруллин, Р.Р. Саттаров, Д.М. Столяров. Заявл. 10.04.06. опубл. 27.10.07, Бюл. № 30.
6. Пат. 2247464 РФ, МКИ Н 02 К 33/04, 33/16, Н 01 F 7/14, В 06 В 1/04. Электромагнитный вибратор / И.Х. Хайруллин, Ф.Р. Исмагилов, Р.Р. Саттаров, А.В. Трофимов, Т.Р. Терегулов. Заявл. 17.02.2003; опубл. 27.02.2005, Бюл. № 6.
7. Вибрация в технике: справочник в 6-ти т. / под ред. И.И. Блехмана. Т.2. Колебания нелинейных механических систем. М.: Машиностроение, 1979. 351 с.

*Поступила в редакцию после доработки*

*3 сентября 2009 г.*

**Саттаров Роберт Радикович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электромеханика» Уфимского государственного авиационного технического университета. Тел. (347) 273-77-87. E-mail: [sattar.r@mail.ru](mailto:sattar.r@mail.ru)

**Исмагилов Флюр Рашитович** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электромеханика» Уфимского государственного авиационного технического университета. Тел. (347) 273-77-87. E-mail: [ifr@ugatu.ac.ru](mailto:ifr@ugatu.ac.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ В ЛЕНТОЧНОМ МАГНИТНОМ СЕПАРАТОРЕ ДЛЯ МОКРОГО ОБОГАЩЕНИЯ ПРИ СТАДИАЛЬНОМ ВЫВЕДЕНИИ МАГНЕТИТА

*Г.А. Епутаев, М.Г. Данилова, Б.С. Варламов, Д.Н. Хабалов*

*Представлено описание принципа действия ленточного магнитного сепаратора для мокрого магнитного обогащения, аналитическое описание процесса движения частиц магнетита и его сростков в рабочей зоне сепаратора. Рассчитана траектория движения магнитных частиц, которая описана системой дифференциальных уравнений в системе координат x, y.*

**Ключевые слова:** ленточный магнитный сепаратор, стадияльное выделение, аналитическое описание, пондеромоторные силы, поле модулей сил, воздушный зазор, траектория движения частицы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кармазин В.В., Ковалев Р.В., Епутаев Г.А. Исследование магнитных полей сил барабанного сепаратора на постоянных магнитах // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. М., 2006. № 12.
2. Епутаев Г.А., Данилова М.Г., Варламов Б.С. Ленточный магнитный сепаратор: пат. 2356631 РФ. Опубл. 27.05.2009., Бюл. № 15.
3. Епутаев Г.А., Варламов Б.С., Соин А.М. Исследование магнитных полей и сил ленточного магнитного сепаратора для мокрого обогащения с воздушным зазором между обогащаемым продуктом и пульпой // *Тр. молодых ученых*. Владикавказ, 2008. № 3.
4. Епутаев Г.А. Основы аналитической теории взаимодействия минералов с полем сепаратора на постоянных магнитах. Владикавказ, РИА, 1999.

*Поступила в редакцию*

*6 мая 2009 г.*

**Епутаев Геннадий Алексеевич** – д-р техн. наук, профессор Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета). Тел. (8672)407269. E-mail: [egaprof@yandex.ru](mailto:egaprof@yandex.ru)

**Данилова Майя Геннадиевна** – канд. техн. наук, доцент Старооскольского технологического института (филиала) Московского государственного института стали и сплавов. Тел. (4725)32-43-61. E-mail: director@sti-misis.ru  
**Варламов Борис Сергеевич** – аспирант Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета). Тел. (8672)407269. E-mail: bor-varlamov@yandex.ru  
**Хабалов Дмитрий Нодарович** – аспирант Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета). Тел. (8672)407269. E-mail: Dav-Habal@yandex.ru

---

УДК 621.3:519.642.2

## **СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМОТОРНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ**

*Ю.А. Орлов*

*Приведено описание и функционирование структурных схем математического моделирования регуляторов токов якорей и возбуждения, тяговых двигателей, имитационных моделей нагрузок для каждой колёсной пары и состава поезда.*

**Ключевые слова:** многомоторный электропривод, электровоз, независимое возбуждение, ток якоря, ток возбуждения, боксование, алгоритм управления.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Орлов Ю.А. Управление многомоторным коллекторным электроприводом на электровозах переменного тока // Изв. вузов. Электромеханика. 2010. № 1. С. 65 – 68.
2. Златин И.Л. Схемотехническое и системное проектирование радиоэлектронных устройств в OrCAD 10.5. М.: Горячая линия – Телеком, 2008. 352 с.
3. Разевит В.Д. Система проектирования OrCAD 9.2. М.: Солон. Р. 2001. 520 с.
4. Бахвалов Ю.А. Динамические процессы в асинхронном тяговом приводе магистральных электровозов: монография / Ю.А. Бахвалов, Г.А. Бузало, А.А. Зарифьян, П.Ю. Петров, П.Г. Колпахчян, Л.Н. Сорин, В.П. Янов.: под ред. А.А. Зарифьяна. М.: Маршрут, 2006. 374 с.
5. Бахвалов Ю.А. Моделирование электромеханической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом / Ю.А. Бахвалов, А.А. Зарифьян, В.Н. Кашников, П.Г. Колпахчян, Е.М. Плохов, В.П. Янов.: под ред. Е.М. Плохова. М.: Транспорт, 2001. 286 с.
6. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. М.: Высшая школа, 1994. 318 с.
7. Вольвич А.Г., Орлов Ю.А., Щербаков В.Г. Математическое моделирование многомоторного тягового электропривода с двигателями независимого возбуждения // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион, Технические науки. 2010. № 2. С. 38 – 42.

*Поступила в редакцию*

*28 октября 2009 г.*

**Орлов Юрий Алексеевич** – генеральный директор Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения, г. Новочеркасск. Тел. (8635)23-40-83.

---

УДК 621.313.3

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ ТОКА С РЕЛЕЙНЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ НА КОНДЕНСАТОРАХ ВЫХОДНОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

*В.Н. Мецерьков, Д.В. Пешков*

*Предложена система управления автономным инвертором тока с релейным формированием напряжения на конденсаторах выходного фильтра, передающая автономному инвертору тока свойства источника трехфазного синусоидального напряжения высокого качества и позволяющая реализовать для управления асинхронным двигателем детально разработанные и проверенные на практике принципы частотного управления.*

**Ключевые слова:** релейное управление, математическая модель, качество, асинхронный привод.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Грузов В.Л., Машкин А.В. Сравнительный анализ алгоритмов управления автономными инверторами напряжения в асинхронных электроприводах // Электротехника. 2001. № 12. С. 34 – 40.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2006.
3. Polka David. Motors and drives. A practical technology guide, NC.: ISA, 2003. 385 p.

4. Emadi Ali. Handbook of automotive power electronics and motor drives. NW.: CRC Press, 2005. 688 p.
5. Чиженко И.М., Руденко В.С., Сенько В.И. Основы преобразовательной техники: учебное пособие для специальности // Промышленная электроника. М.: Высш. школа, 1974.
6. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: учебное пособие для вузов. Л.: Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1982.
7. Wu Bin. High-Power Converters and AC Drives. NJ.: John Wiley & Sons, 2006. 333 p.

*Поступила в редакцию после доработки*

*19 сентября 2009 г.*

**Мещеряков Виктор Николаевич** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электропривода Липецкого государственного технического университета. E-mail: [mesherek@stu.lipetsk.ru](mailto:mesherek@stu.lipetsk.ru)

**Пешков Дмитрий Васильевич** – аспирант кафедры электропривода Липецкого государственного технического университета. E-mail: [peshkov\\_dv@mail.ru](mailto:peshkov_dv@mail.ru)

---

УДК 621.31.03

## **СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА С ДИНАМИЧЕСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ОГРАНИЧЕННОГО ЭНЕРГОРЕСУРСА**

*В.Г. Манжула*

*Предложен подход, позволяющий синтезировать оптимальные по сложности и стоимости системы управления электропитанием автономных объектов с динамическим распределением ограниченного энергоресурса. В работе решены задачи синтеза закона управления, выбора параметров емкости секции источника питания, обеспечивающих минимизацию количества остающегося в ней энергоресурса.*

*Ключевые слова:* синтез, система управления, минимально-факторный выбор, источник питания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Березин О.К. Проектирование источников электропитания электронной аппаратуры. учебник / О.К. Бе-резин, Е.М. Парфенов, В.Г. Костиков. 3-е изд. М. : МГТУ им. Баумана, 2006. 504 с.
2. Костиков В.Г. Источники электропитания электронных средств : схемотехника и конструирование : учебник / В.Г. Костиков, Е.М. Парфенов, В.А. Шахнов. М. : Горячая Линия. Телеком, 2001. 344 с.
3. Атрощенко, В.А. Модульное агрегатирование систем автономного электроснабжения / В.А. Атрощенко, О.В. Григораш // Промышленная энергетика. 1996. № 4. С. 20 – 23.
4. К вопросу выбора оптимальной структуры системы автономного электроснабжения / О.В. Григораш, Д.В. Мельников, С.В. Мелехов, А.В. Дацко // Промышленная энергетика. 2002. № 11. С. 23 – 27.

*Поступила в редакцию*

*25 декабря 2009 г.*

**Манжула Владимир Гаврилович** – докторант Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института), канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационные системы и радиотехника» Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса. Тел. (8636) 256159. E-mail: [manjula@sssu.ru](mailto:manjula@sssu.ru)

---

УДК 681.515: 621.316.761.2

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ В МОДЕЛЯХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ТРАНСПОРТНЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ МЕТОДОМ ЕГО КОМПЕНСАЦИИ**

*И.А. Полетаев*

*Предложен новый способ компенсации модели звена транспортного «чистого» запаздывания в полиноме знаменателя передаточной функции (ПФ) замкнутой системы. При этом рассмотрены модели ПФ линейной разомкнутой системы первого и второго порядков с последовательно включенным звеном чистого запаздывания в регуляторе или объекте управления. Структуры моделей более высокого порядка могут быть разложены на сумму моделей первого и второго порядков. Таким образом, метод компенсации является универсальным для линейных систем любого порядка, содержащих элемент транспортного запаздывания.*

*Ключевые слова:* транспортное запаздывание, компенсация запаздывания, математическая модель, дискретная передаточная функция, дискретный регулятор, эквивалентный экстраполятор.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коськин Ю.П. Развитие электромеханики в теории и технологиях электромеханотроники // Изв. вузов. Электромеханика. 2008. № 1. С. 11 – 20.
2. Олесон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. СПб.: Невский диалект, 2001. 557 с.
3. Авдеев О.Н., Полетаев И.А. Проектирование противозапаздывающих регуляторов // Электротехника, Машиностроение: Тр. Псковского политехнического института. Псков: ППИ, 2004. № 8.3. С. 220 – 231.
4. Ковчин С.А. Чжань Ан-нянь. Алгоритмы экстраполяции дискретных сигналов в цифровых системах. // Изв. вузов. Электромеханика 1989. № 4.
5. Ковчин С.А., Сотомайор Мариано Хуан. Свойства цифровых систем подчиненного управления. // Изв. вузов. Электромеханика. 1991. № 6.

*Поступила в редакцию*

*18 августа 2009 г.*

**Полетаев Игорь Алексеевич** – аспирант, старший преподаватель кафедры «Вычислительная техника» Псковского государственного политехнического института. Тел. (8112)66-27-92. E-mail: ipoletaev@mail.ru.

---

УДК 621.316.925:51

## ГРАНИЧНЫЕ РЕЖИМЫ В МЕТОДИКЕ ОБУЧЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ. Часть 2. Обучение реле сопротивления

*Ю.Я. Лямец, Д.В. Кержаев, Г.С. Нудельман, Ю.В. Романов*

*Методика обучения релейной защиты, представленная в первой части статьи [1], иллюстрируется примерами из области дистанционной защиты. Ядро методики составляет поиск граничных режимов и их отображение на уставочных плоскостях. Прошедшие обучение реле сопротивления обычного, адаптивного и виртуального типа сравниваются между собой по распознающей способности. Результат сравнения свидетельствует в пользу виртуального реле.*

*Ключевые слова:* реле сопротивления, обучение, граничные режимы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Граничные режимы в методике обучения релейной защиты. Ч.1. Граничные условия и обучающие процедуры / Лямец Ю.Я., Кержаев Д.В., Нудельман Г.С., Романов Ю.В. // Изв. вузов. Электромеханика. 2009, № 4.
2. Liamets Y., Ivanov S., Nudelman G., The phenomena of uncertainty and ambiguity in identification of faults in electrical systems // CIGRE SC B5 Colloquium, Paper 313, Calgary, Canada. 2005. P. 1–7.

*Поступила в редакцию*

*14 июля 2009 г.*

**Лямец Юрий Яковлевич** – д-р техн. наук, профессор, председатель НТС ООО «ИЦ «Бреслер» Тел. (8352) 45-18-18. E-mail: [liamets@yandex.ru](mailto:liamets@yandex.ru)

**Кержаев Дмитрий Викторович** – магистр, руководитель сектора ООО «ИЦ «Бреслер». Тел. (8352)45-91-91. E-mail: [kerzhaev\\_dv@ic-bresler.ru](mailto:kerzhaev_dv@ic-bresler.ru)

**Нудельман Года Семёнович** – канд. техн. наук, генеральный директор ОАО «ВНИИР». Тел.: (8352)45-91-91. E-mail: [nudelman@vniir.ru](mailto:nudelman@vniir.ru)

**Романов Юрий Вячеславович** – магистр, старший инженер-исследователь ООО «ИЦ «Бреслер». Тел. (8352)45-91-91. E-mail: [romanov\\_uv@ic-bresler.ru](mailto:romanov_uv@ic-bresler.ru)

---

УДК 621.31.004.18

## МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА ЛИНИЙ РАЗЛИВКИ МЕТАЛЛА С ПОЗИЦИИ МИНИМУМА РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

*В.М. Салтыков, П.А. Шастин*

*Разработаны методики оптимизации комплекса линий разлива металла с позиции минимума расхода электроэнергии, а также определения оптимального режима работы.*

*Ключевые слова:* линия разлива металла (ЛРМ), модель оптимизации, минимальный расход электроэнергии, оптимальный режим работы, методика.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Салтыков В.М., Шастин П.А. Структурный анализ электропотребления линии разлива чугуна и энергосберегающие режимы ее работы // Вестник СамГТУ. Сер. Технические науки. 2008. № 2(22). С. 177 – 185.
2. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах: учеб. пособие для студентов экон. спец. вузов. М.: Высш. школа. 1986.

**Салтыков Валентин Михайлович** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» Самарского государственного технического университета. Тел. 8(846) 278-44-96. E-mail: [aees@rambler.ru](mailto:aees@rambler.ru)  
**Шастин Павел Анатольевич** – аспирант кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» Тольятинского государственного университета. Тел. 8(8482) 37-48-97. E-mail: [pavelshastin@yandex.ru](mailto:pavelshastin@yandex.ru)

---

УДК 621.311

## МОНИТОРИНГ ЧАСТОТЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В ВЕКТОРНОЙ ФОРМЕ

*Я.Л. Арцишевский, Д.М. Журавлев*

*Проанализировано влияние изменения режима электрической сети на значение угловой частоты  $\omega(t)$  напряжения в местах измерения. На расчетном примере показано, что значения угловой частоты в различных точках электрической сети не совпадают с угловой частотой эквивалентного источника питания и зависят от скорости изменения режима работы сети при неизменной скорости вращения эквивалентного ротора источника питания.*

*Ключевые слова:* система мониторинга переходных режимов (СМПР), регистратор РМУ, вектор, угловая частота.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Synchronized sampling and phasor measurements for relaying an control/G. Phadke, B Pickett. et al.//IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, № 1, January 1994. P. 442–452.
2. Аюев Б.И. О системе мониторинга переходных режимов // Энергорынок. 2006. № 2.
3. СТО СО-ЦДУ ЕЭС 001-2005. Нормы участия энергоблоков ТЭС в нормированном первичном и автоматическом вторичном регулировании частоты. 2005.
4. Физические величины: справочник / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др.; под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
5. Основы теории цепей: учеб. для вузов. Изд. 4-е, переработанное / В.Г. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. М.: Энергия. 1975. 752 с.
6. Прецизионное исследование работы турбоагрегата опико-электронными средствами/ М.И. Киселёв, Н.А. Зройчиков, В.И. Пронякин, Я.В. Чивилёв // Теплоэнергетика. 2006. № 11. С. 10–13.
7. Казанский В.Е., Арцишевский Я.Л., Мо-розов Л.Н. Комплексное устройство для автоматического контроля электрических параметров высоковольтной установки// Электротехническая промышленность. Сер. Аппараты высокого напряжения, трансформаторы, силовые конденсаторы. 1972. 8. Вып. 6(15).

Поступила в редакцию

1 октября 2009 г.

**Арцишевский Ян Леонардович** – канд. техн. наук, доцент, чл.-корр АЭН РФ Московского энергетического института (Технического университета).

**Журавлев Денис Михайлович** – аспирант Московского энергетического института (Технического университета).

---

УДК 621.375:681.33 (075.8)

## ПРИМЕНЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ «СОПРОТИВЛЕНИЕ – ТОК» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

*А.В. Высоцкий, П.К. Кузнецов*

*Обсуждается подход к решению задачи по уменьшению риска выхода из строя входных цепей дорогостоящих измерителей-регистраторов при случайном попадании потенциала на спай термопары. Приводится способ и схемы подключения, позволяющие существенно повысить помехоустойчивость измерительных цепей к импульсным синфазным помехам.*

*Ключевые слова:* измеритель-регистратор, потенциал, спай термопары, способ подключения, схема, помехоустойчивость, синфазные помехи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Aström K.J., Wittenmark B. Computer Controlled Systems, Prentice Hall, London (1997).
2. Mahalik N.P. Attributes of industrial machine and process control systems, International Journal of Computer
3. Grygiel G., Hensler O., Rehlich K. DESY, DOOCS: A Distributed Object Oriented Control System on PC's and Workstations (1996). Applications in Technology (IJCAT) 25 (4) (2006).



Поступила в редакцию

15 сентября 2009 г.

**Высоцкий Андрей Витальевич** – аспирант кафедры «Электропривод и промышленная автоматика» Самарского государственного технического университета. Тел. (846)278-44-60.

**Кузнецов Павел Константинович** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электропривод и промышленная автоматика» Самарского государственного технического университета.

---

УДК 621.313

## ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ УЧЕБНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИНХРОННЫХ МАШИН

**А.В. Иванов-Смоленский, В.И. Гончаров, Тейн Наинг Тун**

*При учебном проектировании синхронных машин параллельно с расчетом по традиционным методикам целесообразно использовать простые двухмерные конечно-элементные модели, что позволит повысить уровень подготовки студентов. При этом следует учитывать особенности конечно-элементных моделей крупных синхронных машин, связанные с учетом трехмерной неоднородности магнитной системы и со способом определения результирующей ЭДС якоря.*

**Ключевые слова:** учебное проектирование, синхронные машины, метод конечных элементов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Meeker D. Finite Element Method Magnetics. User's Manual. Version 4.0; June 17, 2004 ([dmeeker@ieec.org](mailto:dmeeker@ieec.org) и <http://femm.foster-miller.com>).
2. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Магнитные цепи, поля и программа FEMM. М.: Изд. центр «Академия», 2005. 336 с.
3. Абрамов А.И., Иванов-Смоленский А.В. Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов.: учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2001. 389 с.
4. Проектирование электрических машин: учеб. пособие для вузов / П.С. Сергеев, Н.В. Виноградов, Ф.А. Горяинов. М.: Энергия, 1970. 632 с.
5. Абрамов А.И., Извеков В.И., Серихин Н.А. Проектирование турбогенераторов: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2005.
6. Универсальный метод расчета электромагнитных процессов в электрических машинах/А.В. Иванов-Смоленский, Ю.В. Абрамкин, А.И. Власов, В.А. Кузнецов; под ред. А.В. Иванова-Смоленского. М.: Энергоатомиздат, 1986. 216 с.
7. Смоленский А.В., Кузнецов В.А. Метод расчета магнитных полей с учетом трехмерной неоднородности сердечников электрических машин // Электричество. 2005. № 11. С. 2 – 7.

Поступила в редакцию

5 ноября 2009 г.

**Иванов-Смоленский Алексей Владимирович** – д-р техн. наук, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры электромеханики Московского энергетического института (Технического университета).

**Гончаров Владимир Иванович** – старший преподаватель кафедры электромеханики Московского энергетического института (Технического университета).

**Тейн Наинг Тун** – аспирант кафедры электромеханики Московского энергетического института (Технического университета).

---

УДК 621.3(035.5)

## КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

**А.М. Литвиненко**

*Рассмотрена классификация электромеханических преобразователей (ЭМП), в основу которой положен принцип электромеханической связи, имеющей четыре разновидности по совокупности первичных и вторичных параметров, в качестве которых выступают электрические и магнитные поля. Данные четыре разновидности наложены на конструктивные элементы – статор и ротор с переменными и постоянными величинами. В результате получена таблица, в которой присутствуют практически все известные на сегодняшний день ЭМП.*

**Ключевые слова:** электромеханические преобразователи, классификация, электрические машины, электромеханическая связь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Уайт Д., Вудсон Г. Электромеханическое преобразование энергии. М.-Л: Энергия, 1964. 527с.
2. Жежерин Р.П. Индуктивные генераторы. М.-Л: ГЭИ, 1961 319с.
3. Петров Г.Н. Электрические машины. В 3-х частях.4.1. Введение. Трансформаторы: учеб. для вузов. М.: Энергия, 1974. 2407с.
4. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: учеб. для вузов. В двух томах. Т. 2. 3-е изд., стереотип. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 532 с.
5. Литвиненко А.М. Электроприводы промышленных роботов с внешними магнитными системами. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1989. 160 с.
6. Литвиненко А.М. Электромеханический манипулятор с внешними магнитными системами // Электричество. 1988. № 7. С. 57 – 62.
7. Карасев Д.Д. Диаграмма тензорных уравнений классической электродинамики // Электричество. 2003. № 2. С. 53 – 58.
8. Копылов И.П. Электромеханические преобразователи энергии. М.: Энергия, 1973. 400с
9. Литвиненко А.М. Обмотки измеряемой геометрии в электроприводе роботов // Электричество. 1985. № II. С. 60 – 63.

*Поступила в редакцию после доработки*

*11 сентября 2009 г.*

**Литвиненко Александр Михайлович** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Автоматика и информатика в технических системах» Воронежского государственного технического университета. Тел. 437-659. E-mail: [litvinenko@aits.vorstu.ru](mailto:litvinenko@aits.vorstu.ru)