

## СОДЕРЖАНИЕ № 3, 2010

**Князев С.Ю.** Устойчивость и сходимость метода точечных источников поля при численном решении краевых задач для уравнения Лапласа

**Гречихин В.В.** Применение математического моделирования в задачах определения петель гистерезиса электротехнических материалов

**Кононенко К.Е., Луценко Е.В.** Исследование пульсаций пускового момента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

**Бычков В.М., Встовский А.Л., Пантелеев В.И., Федий К.С.** Низкоскоростной синхронный генератор и система управления режимами его работы

**Лозовский В.В.** Математическая модель срабатывания технического ресурса силового трансформатора в результате воздействия теплового фактора с учётом переходного теплового процесса

**Загирняк М.В., Невзлин Б.И., Дьяченко Ю.Ю.** Функциональная взаимосвязь массогабаритных и энергетических параметров электрических аппаратов. Часть 4. Разработка критериев рационального выбора электрических аппаратов и их серий

**Вторушин Ю.А., Горяшин Н.Н., Крутских Е.И., Лукьяненко М.В., Хорошко А.Ю.** Импульсный преобразователь напряжения с резонансным переключением для автономной системы электроснабжения

**Певчев В.П.** О возможности повышения механической энергии короткоходового импульсного электромагнитного двигателя сейсмоисточника

**Карандаев А.С., Храмшин В.Р., Галкин В.В., Лукин А.А.** Математическое моделирование тиристорного электропривода с переключающейся структурой

**Аристов А.В., Паюк Л.А.** Взаимосвязь ударных токов электропривода колебательного движения с геометрическими параметрами машины двойного питания при потенциальной фазовой модуляции

**Васильев И.Е., Ключев Р.В., Котова О.А., Васильев Е.И.** Определение фактического вклада потребителя и системы в несинусоидальность напряжения при управлении работой батарей статических конденсаторов на предприятиях цветной металлургии

**Ершов Ю.А., Малеев А.В.** Программируемая модель дифференциальной защиты трансформатора в среде визуального моделирования MatLab

**Подшивалин А.Н., Подшивалина И.С.** Основы методологии расчета уставок микропроцессорной релейной защиты

**Семенов Ю.Г.** Особенности радиосигналов от дуговых нарушений токосъема на контактной сети и использование их в системах диагностики

### Сообщения

**Пахомин Л.С.** Полевая компьютерная модель вентильного двигателя с постоянными магнитами для оптимизационного проектирования

**Засыпкин А.С., Ляпонин Д.Н.** Адаптивное автоматическое повторное включение воздушной линии при плавке гололёда

# УСТОЙЧИВОСТЬ И СХОДИМОСТЬ МЕТОДА ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПОЛЯ ПРИ ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ЛАПЛАСА

С.Ю. Князев

*Исследуется устойчивость и сходимость метода точечных источников поля при решении широкого круга краевых задач для двух- и трехмерного уравнения Лапласа. Подробно исследована сходимость численного метода для круговых областей. Показано убывание погрешности с увеличением числа зарядов по экспоненциальному закону.*

**Ключевые слова:** метод точечных источников, уравнение Лапласа, анализ погрешности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексидзе М.А. Фундаментальные функции в приближенных решениях граничных задач. М.: Наука. 1991. 352 с.
2. Купрадзе В.Д. О приближенном решении задач математической физики // УФН. 1967. Т. 22, № 2. С. 59 – 107.
3. Купрадзе В.Д., Алексидзе М.А. Метод функциональных уравнений для приближенного решения некоторых граничных задач // ЖВМиМФ. 1964. Т.4., № 4. С. 683 – 715.
4. Fairweather G., Karageorghis A. The method of fundamental solutions for elliptic boundary value problems // Advances in Computational Mathematics. 1998. 9. P. 69–95.
5. Бахвалов Ю.А., Князев С.Ю., Щербаков А.А. Математическое моделирование физических полей методом точечных источников // Изв. РАН. Сер. физическая. 2008. Т. 72, № 9. С. 1259 – 1261.
6. Князев С.Ю., Щербакова Е.Е. Решение граничных задач математической физики с помощью метода точечных источников поля // Изв. вузов. Электромеханика. 2007. № 3. С. 11 – 15.
7. Дроботенко М.И., Игнатъев Д.В. Метод точечных потенциалов для уравнения Лапласа // Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2007. №1. С. 5 – 6.
8. Smyrlis Y.-S., Karageorghis A. Some Aspects of the Method of Fundamental Solutions for Certain Harmonic Problems // Journal of Scientific Computing. 2001. Vol. 16. № 3. P. 341 – 371.
9. Alves C.J.S., Chen C.S. A new method of fundamental solutions applied to nonhomogeneous elliptic problems // Advances in Computational Mathematics. 2005. 23. P. 125–142.
10. Xin Li. Convergence of the method of fundamental solutions for Poisson's equation on the unit sphere // Advances in Computational Mathematics. 2008. 28. P. 269 – 282.
11. Xin Li. Convergence of the method of fundamental solutions for solving the boundary value problem of modified Helmholtz equation // Applied Mathematics and Computation. 2004. 159. P. 113 – 125.
12. Князев С.Ю. Численное решение уравнений Пуассона и Гельмгольца с помощью метода точечных источников // Изв. вузов. Электромеханика. 2007. № 2. С. 77 – 78.
13. Barnett A.H., Betcke T. Stability and convergence of the method of fundamental solutions for Helmholtz problems on analytic domains // Journal of Computational Physics. 2008. 227. P. 7003 – 7026.
14. Alves C.J.S., Valtchev S.S. Numerical comparison of two meshfree methods for acoustic wave scattering // Engineering Analysis with Boundary Elements. 2005. 29. P. 371 – 382.
15. Князев С.Ю., Щербакова Е.Е. Решение задач тепло- и массопереноса с помощью метода точечных источников поля // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2006. № 4. С. 43 – 47.
16. Князев С.Ю., Щербаков А.А. Применение метода мгновенных точечных источников поля при численном решении граничных задач для уравнения теплопроводности // Физико-математическое моделирование систем : материалы V Междунар. семинара (г. Воронеж, 28 – 29 ноября 2008 г.) / Воронеж. гос. техн. ун-т. Воронеж, 2008. Ч. 2. С. 47 – 54.
17. Расчет электрических цепей и электромагнитных полей на ЭВМ / под ред. Л.В. Данилова. М.: Радио и связь. 344 с.
18. Белицын И.В., Макаров А.В. Алгоритм расчета электрического поля ВЛЭП на основе метода эквивалентных зарядов // Ползуновский вестник. 2007. № 4. С. 134 – 140.
19. Блохин Ю.В., Журавлев Э.Н., Ярославский Э.Н. К расчету электростатических полей методом эквивалентных зарядов // Электричество. 1980. № 2. С. 26 – 31.
20. Расчет двумерных электрических полей в изоляции пазовых частей обмоток тяговых электродвигателей методом эквивалентных зарядов // А.В. Киреев, Н.И. Березинец, А.Ю. Бахвалов и др. // Изв. вузов. Электромеханика. 2008. № 5. С. 3 – 7.
21. Antonio J., Tadeu A., Godinho L. A three-dimensional acoustics model using the method of fundamental solutions // Engineering Analysis with Boundary Elements 32 (2008). 525–531.
22. Boag A., Leviatan Y., Boag A. Analysis of acoustic scattering from fluid cylinders using a multifilament source model // J. Acoust. Soc. Amer. 1988. 83. P. 1 – 8.
23. Cunha F.R., Couto H.L.G. A new boundary integral formulation to describe three-dimensional motions of interfaces between magnetic fluids // Applied Mathematics and Computation. 2008. 199. Pp. 70–83.
24. Князев С.Ю. Моделирование термомиграции с помощью метода граничных элементов и точечных источников поля // Изв. вузов. Электромеханика. 2006. № 8. С. 67 – 71.
25. Князев С.Ю., Щербакова Е.Е. Численное исследование стабильности термомиграции плоских зон // Изв. вузов. Электромеханика. 2007. № 1. С. 14 – 17.
26. The Young D.L., Tsai C.C., Chen C.W., Fan C.M. Method of fundamental solutions and condition number analysis for inverse problems of Laplace equation // Computers and Mathematics with Applications. 2008. 55. P. 1189–1200.
27. Katsurada M., Okamoto H. A mathematical study of the charge simulation method I // J. Fac. Sci. Univ. Tokyo. Sect. IA, Math. 1988. 35. 507 – 518.
28. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. М.: Наука. 1966. Т. 2 464 с.
29. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука. 1979. 288 с.
30. Математическая энциклопедия / гл. ред. И.М. Виноградов. М.: Советская энциклопедия, 1988. Т. 2. 1216 с.

Князев Сергей Юрьевич – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры общей и прикладной физики Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института). Тел. (863 52) 55-4-81.

УДК 517.958:681.2.083

## ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕТЕЛЬ ГИСТЕРЕЗИСА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

*В.В. Гречихин*

*Рассмотрены явления электрического и магнитного гистерезиса, необходимость и методы его моделирования для повышения уровня технических параметров электротехнических устройств. Установлено, что точность моделирования магнитного и электрического состояния во многом определяется предельными петлями гистерезиса материалов. Для получения этих характеристик предложено проводить натурно-модельный эксперимент. Приведены примеры его реализации.*

**Ключевые слова:** электрический и магнитный гистерезис, математическое моделирование, ферромагнетики, сегнетоэлектрики, модель Джилса-Аттертона, предельная петля гистерезиса, натурно-модельный метод.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.
2. Поливанов К.М. Ферромагнетики. М.: Госэнергоиздат, 1957.
3. Jiles D.C., Atherton D.L. Theory of Ferromagnetic Hysteresis // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 1986. Vol. 61. P. 48 – 60.
4. Hodgdon M.L. Mathematical Theory and Calculations of magnetic hysteresis curves // IEEE Transactions on Magnetics. 1988. Vol. 24. № 6. P. 3120 – 3122.
5. Chan J.N., Vladirimescu A., Gao X.C., Libmann P., Valainis J. //Non-linear transformer model for circuit simulation, IEEE Transactions on Computer Aided Design. 1991. Vol. 10. № 4. P. 476 – 482.
6. Mayergoyz I.D., Friedman G. Generalized Preisach Model of Hysteresis // IEEE Transactions on Magnetics. 1988. Vol. 24. № 1. P. 212 – 217.
7. Колесников Э.В. Дардасави А. Моделирование магнитного гистерезиса // Изв. вузов. Электромеханика. 1993. № 5. С. 23 – 29.
8. Jiles, D.C., Thoelke J.B. Theory of ferromagnetic hysteresis: determination of Model parameters from Experimental hysteresis loops// IEEE Transactions on Magnetics. 1989. –Vol. 25. № 5. P.3928 – 3930.
9. Рез И.С., Поплавко Ю.М. Диэлектрики. Основные свойства и применения в электронике. М.: Радио и связь, 1989.
10. Smith R.C., Hom C.L. A domain wall model for ferroelectric hysteresis// Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 1999. Vol. 10, № 3. P. 195 – 213.
11. Smith R.C., Ounaies Z. A Domain Wall Model for Hysteresis in Piezoelectric Materials// Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 2000. Vol. 11. №. 1. P. 62 – 79.
12. Lederer D., Igarashi H., Kost A., Honma T. On the Parameter Identification and Application of the Jiles-Atherton Hysteresis Model for Numerical Modeling of Measured Characteristics// IEEE Transactions on Magnetics. 1999. Vol. 35. № 3. P. 1211 – 1214.
13. Identifikation und Optimierung von Jiles-Atherton Modell Parametern zur Hysterese Simulation im Entwurf von Elektromagnetischen antrieben/ S. Rosenbaum, T. Hüfner, O. Radler, T. Ströhla // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2009. Спецвыпуск « Мехатроника. Современное состояние и тенденции развития». С. 118 – 122.
14. Антонов В.Г., Петров Л.М., Щелкин А.П. Средства измерений магнитных параметров материалов. Л.: Энергоатомиздат, 1986.
15. Горбатенко Н.И. Натурно-модельные испытания изделий из ферромагнитных материалов. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001.
16. Бахвалов Ю.А, Гречихин В.В., Юфанова Ю.В. Комбинированная математическая модель квазистационарного магнитного поля на основе скалярных и векторного потенциалов // Изв. вузов. Электромеханика. 2002. № 5. С. 8– 11.
17. Гречихин В.В., Юфанова Ю.В. Моделирование магнитных полей разомкнутых магнитных систем с малыми воздушными зазорами модифицированным методом интегральных уравнений // Изв. вузов. Электромеханика. 2001. № 4–5. С. 5 – 8.
18. Релаксация поляризации в сегнетоэлектрическом кристалле с различными состояниями доменной структуры и поверхности / В.В. Гладкий, С.В. Кириков, С.В. Нехлюдов, Е.С. Иванова //Физика твердого тела. 1997. Т. 39. № 11. С. 2046 – 2052.

Поступила в редакцию

26 февраля 2010 г.

Гречихин Валерий Викторович – канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-измерительной и медицинской техники Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института). Тел. (8635) 2-55-214. E-mail: [vgrech@mail.ru](mailto:vgrech@mail.ru)

УДК 621.313

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ПУСКОВОГО МОМЕНТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

*К.Е. Кононенко, Е.В. Луценко*

*Исследуется влияние зубчатого строения воздушного зазора на пусковой момент асинхронной машины. Предложена методика расчета реактивных моментов, возникающих при пуске асинхронного двигателя.*

*Ключевые слова:* асинхронный двигатель, пусковой момент, реактивный момент, расчет.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов-Смоленский А.В. Электромагнитные силы и преобразование энергии в электрических машинах: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1989. 312 с
2. Копылов И.П. и др. Проектирование электрических машин: учеб. пособие для вузов. М.: Энергия, 1980. 496 с.
3. Шуйский В.П. Расчет электрических машин (пер. с немецкого). М.: Энергия, 1968. 732 с.
4. Геллер Б., Гамата В. Высшие гармоники в асинхронных машинах: пер. с англ. / под ред. З.Г. Каганова. М.: Энергия, 1981. 352 с.

*Поступила в редакцию*

*3 сентября 2009 г.*

**Кононенко Константин Евгеньевич** – д-р техн. наук, профессор кафедры электромеханических систем и электроснабжения Воронежского государственного технического университета. Тел.(факс): (4732)664636. E-mail: kekononenko@yandex.ru

**Луценко Е.В.** – аспирант Воронежского государственного технического университета.

---

УДК 621.313.333

## **НИЗКОСКОРОСТНОЙ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР И СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЕГО РАБОТЫ**

*В.М. Бычков, А.Л. Встовский, В.И. Пантелеев, К.С. Федий*

*Показаны возможности и необходимость применения программного комплекса ANSYS при разработке торцевой низкоскоростной синхронной машины, проведен анализ изменения магнитной индукции в зубцах статора. Представлена система управления режимами работы генератора в составе свободнопоточной микроГЭС.*

*Ключевые слова:* программный комплекс, торцевой синхронный генератор, система управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2313887 РФ Н02К 21/24, Н02К 21/12, Торцевая электрическая машина / Встовский А.Л., Головин М.П., Федий К.С., Головина Л.Н., Спирин Е.А. № 2006121299/09; заявл. 15.06.2006; опубл. 2007., Бюл. № 36.
2. Головин М.П. Автоматизация проектирования свободнопоточной микроГЭС / М.П. Головин, А. Л. Встовский и др. // Вестн. Краснояр. гос. техн. ун-та. Вып. 40. Машиностроение. Красноярск, 2005.
3. Федий К.С. Оптимизационный синтез геометрических параметров торцевой синхронной машины / К.С. Федий, Н.В. Атрохова, Д.И. Морозов // Изв. вузов. Электромеханика. 2007. № 5.
4. Федий К.С. Исследование торцевых электрических машин с использованием пакета ANSYS / К.С. Федий, Н.Е. Полошков // Изв. вузов. Электромеханика. 2008. № 2.

*Поступила в редакцию после доработки*

*18 марта 2010 г.*

**Бычков Владимир Михайлович** – доцент Сибирского федерального университета. Тел. (391) 2498739. E-mail: ep\_sfu@mail.ru

**Встовский Алексей Львович** – канд. техн. наук, профессор Сибирского федерального университета. Тел. (391) 2495058. E-mail: ep\_sfu@mail.ru

**Пантелеев Василий Иванович** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Сибирского федерального университета. Тел. 8-9504004553. E-mail: pvi0808@rambler.ru

**Федий Константин Сергеевич** – канд. техн. наук, старший преподаватель Сибирского федерального университета. Тел. 8 9069156224. E-mail: ep\_sfu@mail.ru

---

УДК 681.518.54

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СРАБАТЫВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕСУРСА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕПЛООВОГО ФАКТОРА С УЧЁТОМ ПЕРЕХОДНОГО ТЕПЛООВОГО ПРОЦЕССА**

*В.В. Лозовский*

*Предложен подход к определению ресурса, срабатываемого силовым трансформатором с учётом интенсивности и условий эксплуатации. Рассмотрена математическая модель срабатывания ресурса силового транс-*

*форматора в результате теплового воздействия с учётом переходного теплового процесса на основе оценки токопотребления.*

**Ключевые слова:** фактический сработанный ресурс, токопотребление, переходной тепловой процесс, эксплуатационная надёжность, техническое обслуживание, фактическое техническое состояние.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сергеевко Б.Н., Киселёв В.М., Акимова Н.А. Электрические машины. Трансформаторы. М.: Высшая школа, 1989. 352 с.
2. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Машины постоянного тока. Трансформаторы. Л.: Энергия, 1972. 544 с.
3. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надёжность электрических машин: учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1988. 232 с.
4. Назарычев А.Н. Совершенствование системы ремонтов электрооборудования электростанций и подстанций с учетом технического состояния: дис. ... д-ра техн. наук. 05.14.02. Иваново, 2005. 393 с.
5. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. Централизованное и автономное электроснабжение объектов, цехов, промыслов, предприятий и промышленных комплексов/под ред. А.Н. Назарычева. М.: Инфра-Инженерия, 2006. 928 с.
6. Филиппов И.Ф. Теплообмен в электрических машинах: учеб. пособие для вузов. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 256 с.
7. Пястолов А.А., Ерешенко Г.П. Эксплуатация электрооборудования. М.: Агропромиздат, 1990. 287 с.

Поступила в редакцию

30 декабря 2009 г.

**Лозовский Владимир Валерьевич** – адъюнкт кафедры «Электротехника и электроснабжение ракетных комплексов» Ростовского военного института ракетных войск. Тел. 8-863-2-37-26-29. E-mail: [tristankarlovich@bk.ru](mailto:tristankarlovich@bk.ru)

---

УДК 621.313

## **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ МАССОГАБАРИТНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

### **Часть 4. Разработка критериев рационального выбора электрических аппаратов и их серий**

*М.В. Загирняк, Б.И. Невзлин, Ю.Ю. Дьяченко*

*Разработаны критерии рационального выбора отдельного электрического аппарата и серии аппаратов на основании взаимосвязи обобщенного линейного размера и энергетических параметров электрических аппаратов. Практической проверкой предложенных критериев показана их эффективность для выбора отдельных электрических аппаратов и их серий.*

**Ключевые слова:** электрический аппарат, критерий рационального выбора, выбор серии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Функциональная взаимосвязь массогабаритных и энергетических параметров электрических аппаратов. Ч. 1. Анализ известных теоретических и экспериментальных зависимостей между энергетическими, электромагнитными и массогабаритными параметрами электрических аппаратов / М.В. Загирняк, Б.И. Невзлин, Ю.Ю. Дьяченко, М.З.Х. Кавакзех // Изв. вузов. Электромеханика. 2008. № 3. С. 20–26.
2. Загирняк М.В., Невзлин Б.И., Дьяченко Ю.Ю. Функциональная взаимосвязь массогабаритных и энергетических параметров электрических аппаратов. Ч. 2. Получение зависимостей энергетических и электромагнитных параметров от линейных размеров электрических аппаратов // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. № 2. С. 33 – 41.
3. Загирняк М.В., Невзлин Б.И., Дьяченко Ю.Ю. Функциональная взаимосвязь массогабаритных и энергетических параметров электрических аппаратов. Ч. 3. Экспериментальная проверка энергетических и электромагнитных параметров от линейных размеров электрических аппаратов // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. № 5. С. 38 – 46.
4. Невзлин Б.И., Загирняк М.В. Расширение границ зависимостей энергетических параметров вращающихся электрических машин от обобщенного линейного размера. Ч. 3. Оценка погрешности определения обобщенного линейного размера и соответствия теоретических положений экспериментальным данным. Сравнение серий электрических машин по критерию оптимальности // Изв. вузов. Электромеханика. 2002. № 6. С. 10 – 17.

Поступила в редакцию

18 января 2010 г.

**Загирняк Михаил Васильевич** – д-р техн. наук, профессор, ректор Кременчугского государственного политехнического университета им. Михаила Остроградского (Украина). Тел. +38 (05366) 36219. E-mail: [mzagirn@polytech.poltava.ua](mailto:mzagirn@polytech.poltava.ua)

**Невзлин Борис Исаакович** – канд. техн. наук, доцент кафедры электромеханики Восточно-Украинского национального университета им. Владимира Даля (г. Луганск, Украина). E-mail: [bnevz@snu.edu.ua](mailto:bnevz@snu.edu.ua)

**Дьяченко Юрий Юрьевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры электромеханики Восточно-Украинского национального университета им. Владимира Даля (г. Луганск, Украина). E-mail: [dyach@snu.edu.ua](mailto:dyach@snu.edu.ua)

---

## ИМПУЛЬСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ С РЕЗОНАНСНЫМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*Ю.А. Вторушин, Н.Н. Горяшин, Е.И. Крутских, М.В. Лукьяненко, А.Ю. Хорошко*

*Представлены материалы теоретических и экспериментальных исследований импульсного преобразователя напряжения с резонансным переключением ключевого элемента при нулевых значениях напряжения, а также предложены элементы методики его проектирования и анализ параллельной работы.*

*Ключевые слова:* резонансный преобразователь, резонансное переключение.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Системы электропитания космических аппаратов / Б.П. Соустин, В.И. Иванчура, А.И. Чернышев, Ш.Н. Исляев // Новосибирск: ВО «Наука»; Сибирская издательская фирма, 1994. 318 с.
2. Erickson R.W. Fundamentals of Power Electronics. First Edition. New York: Chapman and Hall, 1997. 791 p.
3. Abu-Qahouq I., Batarseh J. Unified Steady-State Analysis of Soft-Switching DC-DC Converters // IEEE Trans. Power Electron., Vol. 17 № 5, Sep. 2002. P. 684 – 691.
4. Abu-Qahouq J. Generalized analysis of soft-switching dc-dc converter families // Tech. Rep., Univ. Central Florida, Orlando, 2000.

*Поступила в редакцию*

*3 июля 2009 г.*

**Вторушин Юрий Александрович** – ведущий инженер ОАО «Информационные спутниковые системы».

**Горяшин Николай Николаевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета им. М.Ф. Решетнева. E-mail [gorkolya@mail.ru](mailto:gorkolya@mail.ru)

**Крутских Евгений Ильич** – заместитель главного конструктора ОАО «Информационные спутниковые системы».

**Лукьяненко Михаил Васильевич** – канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета им. М.Ф. Решетнева.

**Хорошко Александр Юрьевич** – аспирант кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета им. М.Ф. Решетнева.

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ КОРОТКОХОДОВОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДВИГАТЕЛЯ СЕЙСМОИСТОЧНИКА

*В.П. Певчев*

*Исследуется перераспределение энергии полей рассеяния в магнитное поле рабочего зазора в процессе срабатывания короткоходового импульсного электромагнитного двигателя. Предлагается включать последовательно с обмоткой возбуждения дроссель с целью увеличения эффективности преобразования энергии первичного источника в механическую.*

*Ключевые слова:* короткоходовой электромагнит, схема замещения, перераспределение энергии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ивашин В.В., Иванников Н.А. Импульсные электромагнитные сейсмоисточники: особенности и перспективы совершенствования // Приборы и системы разведочной геофизики. Саратов, 2005. № 2. С. 9.
2. Угаров Г.Г. Импульсные линейные электромагнитные двигатели с повышенными силовыми и энергетическими показателями: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.09.01. СО РАН Институт горного дела. Новосибирск, 1992.
3. Ивашин В.В. О влиянии законов изменения поля в воздушном зазоре электромагнита на КПД электромагнитного преобразователя. Новосибирск, 1973. Деп. в Информэлектро в 1973 г. №7452-73.
4. Буль В.К. Основы теории и расчета магнитных цепей М.: Энергия, 1967. С.463.
5. Ленк А. Электромеханические системы / пер. под ред. Н.В. Петькина. М.: Мир, 1978. 283 с.

*Поступила в редакцию после доработки*

*13 июня 2009 г.*

**Певчев Владимир Павлович** – канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной электроники Тольяттинского государственного университета. Тел. 53-92-03. E-mail: [pe@ftsu.ru](mailto:pe@ftsu.ru)

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТИРИСТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПЕРЕКЛЮЧАЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ



*А.С. Карандаев, В.Р. Храмин, В.В. Галкин, А.А. Лукин*

*Представлены функциональные схемы разработанных тиристорных электроприводов с двухзонным регулированием скорости с переключающимися структурами. Приведено описание математической модели разработанных электроприводов, в основу которой положена модель электропривода клетки широкополосного стана 2000 горячей прокатки ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Представлены схемы включения дополнительных звеньев, обеспечивающих переключение и автоматическое изменение координаты, регулируемой по цепи возбуждения. Выполнено математическое моделирование переходных процессов за цикл прокатки. Сделан вывод о целесообразности внедрения предложенных технических решений в тиристорных электроприводах стана 2000.*

**Ключевые слова:** прокатный стан, тиристорный электропривод, двухзонное регулирование скорости, система автоматического регулирования, математическая модель, расчет регуляторов, переходные процессы, моделирование.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция построения электроприводов прокатных станов с двухзонным регулированием скорости и улучшенными энергетическими показателями / А.С. Карандаев, А.А. Радионов, В.В. Головин и др. // Труды IV Междунар. (XV Всероссийской) конф. по автоматизированному электроприводу (АЭП-2004). Магнитогорск, 2004. Ч. 2. С. 260 – 264.
2. Карандаев А.С., Радионов А.А., Головин В.В. Система двухзонного зависимого регулирования скорости в функции выпрямленной ЭДС тиристорного преобразователя // Изв. вузов. Электромеханика. 2004. № 2. С. 40 – 46.
3. Головин В.В., Карандаев А.С., Храмин В.Р. Энергосберегающие тиристорные электроприводы с автоматическим изменением координаты, регулируемой по цепи возбуждения // Изв. вузов. Электромеханика. 2006. № 4. С. 35 – 39.
4. Шрейнер Р.Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов. Ч. 1. Электроприводы постоянного тока с подчиненным регулированием координат: учеб. пособие для вузов. Екатеринбург: Урал. гос. проф.-пед. ун-т, 1997. 279 с.
5. Проектирование электроприводов: справочник / под ред. А.М. Вейнгера. – Свердловск: Среднеуральское кн. изд-во. 1980. 160 с.

*Поступила в редакцию*

*19 октября 2009 г.*

**Карандаев Александр Сергеевич** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой электротехники и электротехнических систем, декан энергетического факультета Магнитогорского государственного технического университета. Тел. 8(3519) 29-84-34. E-mail: [askaran@mail.ru](mailto:askaran@mail.ru)

**Храмин Вадим Рифхатович** – канд. техн. наук, доцент кафедры электротехники и электротехнических систем Магнитогорского государственного технического университета. Тел. 8(3519) 29-84-16. E-mail: [hvr\\_mgn@mail.ru](mailto:hvr_mgn@mail.ru)

**Галкин Виталий Владимирович** – аспирант кафедры электротехники и электротехнических систем Магнитогорского государственного технического университета. Тел. 8(3519) 29-84-16.

**Лукин Александр Андреевич** – аспирант кафедры электротехники и электротехнических систем Магнитогорского государственного технического университета. Тел. 8(3519) 29-84-16.

---

УДК 621.313.333

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ УДАРНЫХ ТОКОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ ПРИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ**

*А.В. Аристов, Л.А. Паюк*

*Предложена методика оценки влияния геометрических размеров электрической машины на динамические показатели электропривода колебательного движения. Приведены результаты влияния частоты колебаний электропривода на параметры электрической машины и проведена оптимизация геометрических параметров ЭМ по данной методике.*

**Ключевые слова:** электропривод колебательного движения, динамические показатели, оптимизация параметров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Загорский А.Е., Шакарян Ю.Г. Управление переходными процессами в электрических машинах переменного тока. М.: Энергоатомиздат, 1986. 176 с.
2. Аристов А.В. Электропривод колебательного движения с машиной двойного питания. Томск: Изд. полиграф. фирма ТПУ, 2000. 176 с.
3. Проектирование электрических машин / под ред. И.П. Копылова. М.: Энергия. 1980. 496 с.

*Поступила в редакцию после доработки*

*7 декабря 2009 г.*

**Аристов Анатолий Владимирович** – д-р техн. наук, профессор кафедры электропривода и электрооборудования Томского политехнического университета. Тел. 8-(38-22)-56-32-55.

**Паюк Любовь Анатольевна** – ассистент кафедры электропривода и электрооборудования Томского политехнического университета. Тел. 8-(38-22)-56-32-55. E-mail: [lubara81@mail.ru](mailto:lubara81@mail.ru)

---

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОГО ВКЛАДА ПОТРЕБИТЕЛЯ И СИСТЕМЫ В НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ БАТАРЕЙ СТАТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

*И.Е. Васильев, Р.В. Клюев, О.А. Котова, Е.И. Васильев*

*Статья посвящена решению актуальной задачи определения фактического вклада потребителя (ФВП) и системы (ФВС) в несинусоидальность напряжения по методике, разработанной на основе проведения активного эксперимента, связанного с включением – отключением батарей статических конденсаторов (БСК) в системе электроснабжения (СЭС). Высокая эффективность методики подтверждена на практике результатами расчета ФВП и ФВС с погрешностью не превышающей 3 %. Методика определения ФВП и ФВС может быть использована на любых предприятиях при наличии в СЭС нелинейных потребителей и БСК.*

*Ключевые слова:* несинусоидальность, напряжение, фактический вклад, высшие гармонические, сопротивление, батарея статических конденсаторов, электрическая система.

### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Методические указания по контролю и анализу качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения (РД 153-34.0-15.502-2002). М., 2002 г.
3. Васильев И.Е., Клюев Р.В., Васильев Е.И., Котова О.А. Математическая модель расчета ФВП в несинусоидальность напряжения // Исследования по современному анализу и математическому моделированию. Сб. тр. междунар. конф. Владикавказ, 2008. С. 332 – 336.

*Поступила в редакцию после доработки*

*28 октября 2009 г.*

**Васильев Игорь Евгеньевич** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета). Тел. 8-(8672)-40-73-71. E-mail: vasiliev-alania@rambler.ru

**Клюев Роман Владимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета). Тел. 8-(8672)-40-73-73. E-mail: kluev-roman@rambler.ru

**Котова Ольга Анатольевна** – старший преподаватель кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета). Тел. 8-(8672)-40-73-72.

**Васильев Евгений Игоревич** – аспирант Московского энергетического института (технического университета).

УДК 621.316.925.(07)

## ПРОГРАММИРУЕМАЯ МОДЕЛЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА В СРЕДЕ ВИЗУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ MATLAB

*Ю.А. Ершов, А.В. Малеев*

*Разработана программируемая модель микропроцессорной дифференциальной защиты трансформатора с торможением, алгоритм её работы, выходные органы отключения и сигнализации, а также методика испытания в динамическом режиме и возможность создания промышленных типов более сложных защит и автоматики.*

*Ключевые слова:* программируемая модель, дифференциальная защита, трансформатор, органы управления и сигнализации, методика испытания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по выбору уставок устройств защиты трансформаторов «Сириус-Т» и «Сириус-ТЗ» / ЗАО «РАДИУС Автоматика». М., 2003.
2. Микропроцессорное устройство основной защиты двухобмоточного трансформатора «Сириус-Т». Техническое описание, руководство по эксплуатации, паспорт / ЗАО «РАДИУС Автоматика». М., 2003.
3. Дифференциальное реле с торможением SPAD 346 С. Руководство по эксплуатации и техническое описание / АББ Реле. Чебоксары, 2006.



4. Ершов Ю.А., Баранов Д.А. Визуальное объектно-ориентированное программирование систем релейной защиты: материалы НТК молодых ученых. Новосибирск, 2006. С. 93 – 95.

5. Ершов Ю.А., Бойко А.С., Михайленко Я.В. Цифровые цепи тока и напряжения. Применение в релейной защите // «Новости электротехники» М., 2006, № 6. С. 11 – 14.

*Поступила в редакцию после доработки*

*9 августа 2009 г.*

**Ершов Юрий Александрович** – канд. техн. наук, профессор кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы» Политехнического института Сибирского федерального университета. E-mail: [ershovyua@yandex.ru](mailto:ershovyua@yandex.ru).

**Малеев Андрей Владимирович** – ассистент кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы» Политехнического института Сибирского федерального университета. E-mail: [sos947@yandex.ru](mailto:sos947@yandex.ru)

---

УДК 621.316.925.1

## ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ РАСЧЕТА УСТАВОК МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

*А.Н. Подшивалин, И.С. Подшивалина*

*Предложен общий подход к решению задачи расчета уставок с использованием методологии информационно-го анализа, теории уставок и методики обучения релейной защиты. Для расчета характеристик срабатывания используется анализ распознающей способности алгоритма в объектном пространстве. К оцениванию чувствительности привлекается метод объектных характеристик.*

**Ключевые слова:** информационный анализ, теория уставок, расчет уставок, проверка чувствительности, характеристика срабатывания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. . Informational tasks of relay protection / Y. Liamets, A. Podchivaline, A. Chevelev, G. Nudelman, J. Zakonjsek // CIGRE SC B5 Colloquium, Sydney, Australia, 2003. P. 213.

2. Информационный анализ энергообъектов и способов их защиты / Ю.Я. Лямец, С.В. Иванов, А.Н. Подшивалин, Г.С. Нудельман, J. Zakonjsek // Релейная защита и автоматика энергосистем 2002: сб. докл. XV науч.-техн. конф. М., 2002. С. 93-97.

3. Informational analysis - new relay protection tool / Y. Liamets, S. Ivanov, A. Podchivaline, G. Nudelman, J. Zakonjsek // Proc. 13th Int. Conf. Power System Protection. Bled, Slovenia, 2002. P. 197 – 210.

4. Interval transform of information and its applications in relay protection/ Y. Liamets, A. Podchivaline, S. Ivanov, G. Nudelman // Proc. Int. Conf. IEEE St-Petersburg PowerTech. Saint-Petersburg, Russia, 2005. Report 31.

5. Задачи и методы распознавания замыканий в электрических системах/ Ю.Я. Лямец, Г.С. Нудельман, А.Н. Подшивалин, J. Zakonjsek // Изв. вузов. Электромеханика, 2002. № 6. С. 65.

6. Liamets Y., Ivanov S, Nudelman G. The phenomena of uncertainty and ambiguity in identification of faults in electrical systems // CIGRE, Session B5 papers, Colloquium and meeting. Calgary, Canada, 2005, Report 312. P. 1 – 7.

7. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1998. 800 с.

8. Руководящие указания по релейной защите «Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий 110-330 кВ». М.: Энергия, 1972. Вып. 9.

9. Руководящие указания по релейной защите «Дистанционная защита линий 35-330 кВ», М.: Энергия, 1966. Вып. № 7.

10. Electrical power system conditions hierarhy in metodology of relay protection education/ Y. Liamets, D. Kerzhaev, S. Ivanov, A. Podchivaline, J. Zakonjsek, G. Nudelman // CIGRE SC B5 Colloquium. Madrid, Spain, 2007.

11. Граничные режимы в методике обучения релейной защиты. Ч. 1. Граничные условия и обучающие процедуры / Ю.Я. Лямец, Д.В. Кержаев, Г.С. Нудельман, Ю.В. Ро-манов // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. № 4. С. 24 – 30.

*Поступила в редакцию после доработки*

*12 марта 2010 г.*

**Подшивалин Андрей Николаевич** – канд. техн. наук, заведующий отделом ООО «Исследовательский центр «Бреслер». Тел. (8352)-57-43- 25. E-mail: [podshivalin\\_a@ic-bresler.ru](mailto:podshivalin_a@ic-bresler.ru)

**Подшивалина Ирина Сергеевна** – заведующая сектором ООО «Исследовательский центр «Бреслер». Тел. (8352)-57-43-25. E-mail: [podshivalina\\_is@ic-bresler.ru](mailto:podshivalina_is@ic-bresler.ru)

---

УДК 621.331: 621.332.3

## ОСОБЕННОСТИ РАДИОСИГНАЛОВ ОТ ДУГОВЫХ НАРУШЕНИЙ ТОКО- СЪЕМА НА КОНТАКТНОЙ СЕТИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ В СИСТЕМАХ ДИАГНОСТИКИ

*Ю.Г. Семенов*

*Описаны особенности импульсных радиосигналов от дуговых нарушений токосъема при гололеде и от неисправных токоприемников на контактной сети переменного тока. Приведены теоретические соотношения для определения вероятности обнаружения опасных дуговых режимов радиосистемами.*

**Ключевые слова:** дуговые нарушения токосъема; особенности радиосигналов; система регистрации; вероятность обнаружения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов Ю.Г. Регистрирующая способность систем контроля дуговых нарушений токосъема // Вестн. РГУПС. Ростов н/Д, 2009. № 4. С. 122 – 128.
2. Жарков Ю.И. Автоматизированная диагностика нарушений токосъема в электротяговых сетях / Ю.И. Жарков, Ю.Г. Семенов, Е.П. Фигурнов, Д.В. Колосов // Теория, методы и средства измерения, контроля и диагностики : материалы IV междунар. науч.-практ. конф. Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2003. С. 45–50.
3. Семенов Ю.Г. Статистические характеристики радиопомех от искрения на токоприемнике локомотива // Режимы работы, автоматическое управление и техническая диагностика систем электроснабжения железных дорог: тр. РИИЖТ. Ростов-на-Дону, 1983. Вып. 171. С. 73–77.
4. Семенов Ю.Г. Особенности и принципы распознавания радиосигналов от дугового токосъема при гололеде на контактной сети переменного тока // Транспорт Урала. Екатеринбург, 2009. № 3 (22). С. 100 – 102.
5. Семенов Ю.Г. Основы оптимальной фильтрации сигналов от дуговых нарушений токосъема автоматизированными системами контроля // Вестн. РГУПС. Ростов н/Д, 2009. № 2. С. 113 – 119.
6. Семенов Ю.Г. Оптимальные уровни принятия решений системами контроля дуговых нарушений токосъема // Вестн. РГУПС. Ростов н/Д, 2009. №2. С. 107 – 112.
7. Жарков Ю.И., Семенов Ю.Г. Основы алгоритма распознавания нарушений токосъема на фидерных зонах автоматизированной системой контроля // Вестн. РГУПС. Ростов н/Д, 2004. №3. С. 105 – 108.

*Поступила в редакцию после доработки*

*1 марта 2010 г.*

**Семенов Юрий Георгиевич** – канд. техн. наук, доцент Ростовского государственного университета путей сообщения. Тел. (863)-55-38-37. E-mail: ygsem@mail.ru

---

УДК 621.318

## ПОЛЕВАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Л.С. Пахомин*

*Рассмотрена возможность построения алгоритма оптимизационного проектирования вентильного двигателя с постоянными магнитами на основе математической модели с использованием метода конечных элементов. Представлены результаты проектирования тягового двигателя трамвая.*

**Ключевые слова:** двигатель, постоянные магниты, оптимизационное проектирование, метод конечных элементов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование электрических машин: учеб. пособие для вузов/И.П. Копылов, Ф.А. Горяинов, Б.К. Клоков и др.; под ред. И. П. Копылова. М.: Энергия, 1980.
2. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсел К. Оптимизация в технике. В 2-х кн. : пер с англ. М.: Мир, 1986.

*Поступила в редакцию*

*29 апреля 2010 г.*

**Пахомин Леонид Сергеевич** – студент кафедры «Электромеханика», Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института). Тел. (863-5)25-52-15.

---

УДК 621.311.52

## АДАПТИВНОЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ПРИ ПЛАВКЕ ГОЛОЛЁДА

*А.С. Засыпкин, Д.Н. Ляпонин*

*Предложен алгоритм адаптивного автоматического повторного включения (АПВ), позволяющий исключить АПВ воздушной линии на устойчивое короткое замыкание, возникшее при плавке гололёда.*

**Ключевые слова:** адаптивное АПВ, короткое замыкание, воздушная линия электропередачи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пупынин В.Н., Герман Л.А. Диагностика контактной сети переменного тока и современный алгоритм управления выключателями фидеров 27,5 кВ // Наука и техника транспорта. 2006. № 2. С. 40 – 54.
2. Адаптивное АПВ линий высокого напряжения для исключения междуфазных КЗ / А.Ф. Бондаренко, Н.А. До-ни, А.А. Шурупов, А.И. Левиуш, Г.Г. Фокин // Электрические станции. 2008. № 11. С. 42 – 43.
3. Ржевский С.С. Пляска проводов ВЛ 6 – 750 кВ. Расчёты схлёстываний и динамических напряжений // Электрические станции. 2005. № 6. С. 55 – 62.
4. Левченко И.И., Засыпкин А.С., Сацук Е.И. Информационное обеспечение мероприятий по предотвращению гололёдных аварий в электрических сетях энергосистем // Изв. вузов. Электромеханика. 2007. № 4. С. 72 – 79.
5. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / под ред. Б.Н. Неклепаева. М.: Изд-во НЦ ЭНАС. 152 с.

*Поступила в редакцию*

*17 февраля 2010 г.*

**Засыпкин Александр Сергеевич** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированные электро-энергетические системы» Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института). Тел. (863) 25-56-11.

**Ляпонин Денис Николаевич** – магистрант кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института). E-mail: [diasnet@yandex.ru](mailto:diasnet@yandex.ru).

---