

ИЗВЕСТИЯ ЮФУ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ IZVESTIYA SFedU. ENGINEERING SCIENCES

Свидетельство о регистрации средства массовой информации

ПИ № ФС77-28889 от 12.07.2007

Научно-технический и прикладной журнал

Издается с 1995 года

Подписной индекс 41970

№ 1 (150). 2014 г.

Журнал включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук».

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

Редакционный совет

Каляев И.А. (председатель); Курейчик В.М. (зам. председателя); Моськин В.Н. (ученый секретарь); Абрамов С.М.; Агеев О.А.; Бабенко Л.К.; Вагин В.Н.; Веселов Г.Е.; Гонкальвес Ж.; Колесников А.А.; Коноплев Б.Г.; Курейчик В.В.; Левин И.И.; Макаревич О.Б.; Маркович И.И.; Микрин Е.А.; Никитов С.А.; Обуховец В.А.; Осипов Г.С.; Панатов Г.С.; Панич А.Е.; Петров В.В.; Петровский А.Б.; Пшихопов В.Х.; Редько В.Г.; Румянцев К.Е.; Саламах М.; Солдатов А.В.; Стемпковский А.Л.; Сухинов А.И.; Сысоев В.В.; Тарасов С.П.; Фрадков А.Л.; Хашемипур М.; Чаплыгин Ю.А.; Чередниченко Д.И.; Четверушкин Б.Н.; Чичков Б.Н.

Рецензент номера д.т.н., профессор Колесников А.А.

Учредитель Южный федеральный университет.

Издатель Технологический институт Южного федерального университета
в г. Таганроге.

Ответственный за выпуск Моськин В.Н.

Главный редактор Ярошевич Н.В.

Редакторы: Чиканенко Л.В., Селезнева Н.И.

Корректор Надточий З.И.

Оригинал-макет выполнен Ярошевич Н.В.

ЛР № 020565 от 23.06.1997 г. Подписано к печати 25.01.2014 г.

Формат 70 × 108 $\frac{1}{8}$. Бумага офсетная.

Офсетная печать. Усл. печ. л. – 31,6. Уч.-изд. л. – 31,0.

Заказ № 17. Тираж 250 экз.

Адрес издателя: 347928, г. Таганрог, ГСП 17А, Некрасовский, 44.

Адрес типографии: 347928, г. Таганрог, ГСП 17А, Энгельса, 1.

Адрес редколлегии: 347928, г. Таганрог, ГСП 17А, пер. Некрасовский, 44,
ТТИ ЮФУ, Д-211, телефон/факс: +7 8634 371-071.

e-mail: onti@tgn.sfedu.ru, <http://izv-tn.tti.sfedu.ru/>.

ISSN 1999-9429 (Print)

© Технологический институт

ISSN 2311-3103 (Online)

Южного федерального университета в г. Таганроге, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ I. ГИДРОЛОКАЦИЯ, АНТЕННЫ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

А.П. Волощенко, П.С. Голосов, Д.В. Орда-Жигулина, И.Б. Старченко ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКИХ СРЕД В МЕДИЦИНЕ И ГИДРОАКУСТИКЕ.....	7
Ю.И. Rogozov, А.А. Дегтярев МЕТОД КОНФИГУРИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	13
Н.В. Шацкий, С.А. Головань, А.Г. Стрижак, В.Н. Шацкий СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ МАЛОЭЛЕМЕНТНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ПРИ НАЛИЧИИ ОШИБОК РЕАЛИЗАЦИИ ФАЗЫ В ЕЕ КАНАЛАХ	19
С.С. Шибяев АКУСТООПТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ РАДИОСИГНАЛОВ ПРЕДЕЛЬНО КОРОТКОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ.....	29
Л.К. Самойлов, И.И. Турулин, С.А. Киракосян, А.Д. Варгенов ПОГРЕШНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ.....	36

РАЗДЕЛ II. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И САПР

В.Н. Балабанов, Ю.А. Скобцов ЭВОЛЮЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАЦИОНАЛЬНОГО РАСКРОЯ РУЛОННОГО МАТЕРИАЛА.....	44
Ю.В. Чернухин, Р.В. Сапрыкин, М.В. Лисичкин ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИВУЧЕСТИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АДАПТИВНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА.....	55
Е.Ю. Косенко, А.Я. Номерчук, И.О. Шаповалов ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ НЕОДНОРОДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	63
Л.С. Берштейн, С.Л. Беляков, А.В. Боженюк МЕТОД МАГУ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ НЕЧЕТКОГО МНОЖЕСТВА БАЗ НЕЧЕТКОГО ТЕМПОРАЛЬНОГО ГРАФА	70
Б.К. Лебедев, А.А. Шашелов МНОГОУРОВНЕВЫЙ ВОСХОДЯЩИЙ ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД ТРАССИРОВКИ ПО ВСЕМУ ЧИПУ	77
Н.А. Полковникова, В.М. Курейчик РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ	83
А.Н. Целых, Л.А. Целых ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕСОМ.....	93
А.Ф. Верлань, М.Ф. Сопель, Ю.О. Фуртат ОБ ОРГАНИЗАЦИИ АДАПТИВНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ.....	100
А.Н. Целых, Л.А. Целых, О.С. Причина МЕТОДЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ	111

РАЗДЕЛ III. ЭЛЕКТРОНИКА И ЭКОЛОГИЯ

С.П. Малоков, А.В. Саенко РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СЕНСИБИЛИЗИРОВАННОГО КРАСИТЕЛЕМ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА	120
Е.В. Воробьев, Е.Н. Шишляникова ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОЛИПИРРОЛОВ – ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	127
И.К. Полюнович ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ЭЛЕКТРО-ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	132
А.В. Никитина, И.С. Семенов ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ БИОЛОГИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ В АЗОВСКОМ МОРЕ	138

РАЗДЕЛ IV. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ХИМИЯ

И.И. Левин, М.В. Хисамутдинов, В.И. Шмойлов ФУНКЦИЯ ВЕЙЕРШТРАССА И R/φ -ХАРАКТЕРИСТИКИ	144
В.Ф. Гузик, В.И. Шмойлов, Г.А. Кириченко НЕПРЕРЫВНЫЕ ДРОБИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКЕ	158
В.И. Бутенко, Д.С. Дуров, Р.Г. Шаповалов ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ	174
И.Б. Аббасов, Г.В. Габрилян, В.В. Орехов КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ДИЗАЙН АВТОМОБИЛЯ «LOTOS»	180
А.С. Курский, В.В. Калыгин НАКОПЛЕНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ КИПЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ	185
С.В. Алексахин, Б.И. Булгаков, М.Н. Попова ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ. ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА	195
В.В. Богданова, Л.В. Радкевич ЭКОНОМИЧНЫЕ ОГНЕЗАЩИТНЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ДЕРЕВЯННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	201
Н.С. Зубкова, М.С. Горин, Н.В. Тимагина, Ю.К. Нагановский ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРМОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ С КОМПЛЕКСОМ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ	205
Н.С. Зубкова, Ю.К. Нагановский ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ТКАНЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОЙ СПЕЦОДЕЖДЫ	209

РАЗДЕЛ V. ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ

М.В. Паничкина, М.А. Масыч, М.Р. Бечвая ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПЛАТНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ В СИСТЕМЕ НОРМАТИВНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ ВУЗОВ	214
Т.В. Седова ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КАПИТАЛА ОРГАНИЗАЦИИ КАК СТРАТЕГИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО УРОВНЯ ПЕРСОНАЛА	220

Н.Н. Бричеева ПРОЕКТИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ВРМ-СИСТЕМЫ С СЕРВИСНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРОЙ НА ОСНОВЕ АВТОРСКОЙ МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ.....	226
--	-----

РАЗДЕЛ VI. ФИЛОСОФИЯ И ПСИХОЛОГИЯ

И.Н. Титаренко, Е.В. Папченко АКСИОЛОГИЧЕСКИЕ ИДЕИ В.И. ВЕРНАДСКОГО И ИХ МЕСТО В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МИРОВОЗЗРЕНИЯ.....	233
С.В. Ефименко ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ИНОЯЗЫЧНОГО ОБЩЕНИЯ.....	239

РАЗДЕЛ VII. КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

С.Г. Цариченко, Н.И. Константинова, О.В. Кривошапкина, В.В. Колесников К ВОПРОСУ О ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.....	247
Н.В. Смирнов, Н.И. Константинова СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	249

CONTENT

SECTION I. HYDROACOUSTICS, ANTENNAS AND SIGNAL PROCESSING

A.P. Voloshchenko, P.S. Golosov, D.V. Orda-Zhigulina, I.B. Starchenko THE FEATURES AND METHODS OF RESEARCH AND PARAMETERS OF LIQUIDS MEDIUMS IN MEDICINE AND HYDROACOUSTICS	7
Y.I. Rogozov, A.A. Degtyarev METHOD CONFIGURATING FUNCTIONAL OF SOFTWARE FOR UNDERWATER ACOUSTICS INFORMATION SYSTEMS	13
N.V. Shatsky, S.A. Golovan, A.G. Strizhak, V.N. Shatsky SYSTEM FOR CONTROL OF TECHNICAL CONDITION OF SMALL ELEMENT PHASED ARRAYS BASED ON THE MODEL OF THE ANTENNA ARRAY IF THERE ARE ERRORS DURING THE IMPLEMENTATION PHASE IN ITS CHANNELS.....	19
S.S. Shibaev ACOUSTOOPTIC MEASURER OF EXTREMELY SHORT WIDTH RADIOSIGNALS PARAMETERS	19
L.K. Samoilov, I.I. Turulin, S.A. Kirakosyan, A.D. Vartenvok THE ERRORS OF SIGNALS RESTORATION IN SYSTEMS MANAGEMENT AND CONTROL	37

SECTION II. INTELLIGENT SYSTEMS AND CAD

V.N. Balabanov, Y.A. Skobtsov AN EVOLUTIONARY ALGORITHM FOR OPTIMIZATION OF ROLL CUTTING	44
Y.V. Chernukhin, R.V. Saprykin, M.V. Lisichkin EXPERIMENTAL RESEARCH OF DURABILITY ADAPTIVE MOBILE ROBOT WITH NEURAL NETWORK CONTROL SYSTEM	56
E.Y. Kosenko, A.Y. Nomerchuk, I.O. Shapovalov INTELLIGENT CONTROL IN HETEROGENEOUS DISTRIBUTED POWER SYSTEMS.....	64
L.S. Bershtein, S.L. Beliakov, A.V. Bozhenyuk MAGHOUT METHOD FOR DEFINITION OF FUZZY BASE SET OF FUZZY TEMPORAL GRAPH	70
B.K. Lebedev, A.A. Shashelov MULTILEVEL DOWN-TOP HYBRID FULL-CHIP ROUTING.....	77
N.A. Polkovnikova, V.M. Kureichik DEVELOPMENT OF AN EXPERT SYSTEM MODEL BASED ON FUZZY LOGIC.....	84
A.N. Tselykh, L.A. Tselykh LOGIC CHART FOR REPRESENTING TASKS IN THE INFORMATION SYSTEM FOR BUSINESS MANAGEMENT	93
A.F. Verlan, M.F. Sopel, Yu.O. Furtat ON ADAPTIVE USER INTERFACE ORGANIZATION IN AUTOMATED SYSTEMS.....	100
A.N. Tselykh, L.A. Tselykh, O.S. Prichina FUZZY LOGIC METHODS IN THE MANAGEMENT OF PRODUCTION PROCESSES.....	111

SECTION III. ELECTRONICS AND ECOLOGY

S.P. Malyukov, A.V. Saenko DEVELOPMENT MODEL OF DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS.....	120
E.V. Vorobiev, E.N. Shishlyanikova MANUFACTURE AND PROPERTIES OF POLYPYRROLE'S THINFILMS AS A GASSENSING MATERIALS FOR USE IN ECOLOGICAL MONITORING....	127

N.K. Poluyanovich	CONVERSION SYSTEM INTEGRATED MODEL TRACTION DRIVE ELECTRIC ROLLING	132
A.V. Nikitina, I.S. Semenov	DEVELOPMENT OF METHODS OF THE SOLUTION OF SLAE FOR THE PROBLEMS OF THE DYNAMICS OF POPULATIONS IN RELATION TO THE WATER AREA OF THE AZOV SEA.....	138

SECTION IV. MATHEMATICS, MECHANICS, CHEMISTRY

I.I. Levin, M.V. Khisamutdinov, V.I. Shmoylov	THE WEIERSTRASS FUNCTION AND R/φ -FEATURES	144
V.F. Guzik, V.I. Shmoylov, G.A. Kirichenko	CONTINUOUS FRACTIONS AND THEIR APPLICATION IN COMPUTATIONAL MATHEMATICS.....	158
V.I. Butenko, D.S. Durov, R.G. Shapovalov	NUMERICAL MODELING OF JOB OF THE LEVER MECHANISM AT DESIGNING INDUSTRIAL ROBOTS WITH RECUPERATION OF ENERGY.....	174
I.B. Abbasov, H.V. Gabriljan, V.V. Orekhov	CONCEPTUAL DESIGN OF CAR «LOTOS»	181
A.S. Kursky, V.V. Kalygin	DEPOSITS ACCUMULATION IN CONDITIONS OF COOLANT BOILING.....	185
S.V. Alexashin, B.I. Bulgakov, M.N. Popova	FINE CONCRETE FOR HYDRAULIC ENGINEERING MODIFIED BY COMPLEX ADDITIVE.....	195
V.V. Bogdanova, L.V. Radkevich	THE ECONOMICAL FIREPROOF COMPOSITIONS FOR WOODEN BUILDING CONSTRUCTIONS.....	201
N.S. Zubkova, M.S. Gorin, N.V. Timagina, Yu.K. Naganovsky	OBTAINING HEAT-RESISTANT MATERIALS WITH A COMPLEX OF PROTECTIVE PROPERTIES	205
N.S. Zubkova, Yu.K. Naganovsky	RESEARCH ON THE TOXICITY OF PRODUCTS OF BURNING FABRICS USED FOR THE MANUFACTURING OF FIREPROOF PROTECTIVE CLOTHING	210

SECTION V. ECONOMICS AND MANAGEMENT

M.V. Panichkina, M.A. Masych, M.R. Bechvaya	ECONOMIC CONTENT OF PAID EDUCATIONAL SERVICES IN THE REGULATORY FINANCIAL INSTITUTIONS OF HIGHER EDUCATION.....	214
T.V. Sedova	INTELLECTUAL CAPITAL FORMATION OF ORGANIZATION AS A STRATEGY FOR IMPROVING THE QUALITY LEVEL STAFF	221
N.N. Bricheeva	ADAPTIVE DESIGN OF INFORMATION SYSTEMS BPM-SOA-BASED AUTHOR METHODS OF AUTOMATION OF STRATEGIC PLANNING	226

SECTION VI. PHILOSOPHY AND PSYCHOLOGY

I.N. Titarenko, E.V. Papchenko	AXIOLOGICAL IDEAS OF V.I. VERNADSKY AND THEIR PLACE IN THE ECOLOGICAL WORLD OUTLOOK FORMATION	233
S.V. Efimenko	PSYCHOLOGICAL PECULIARITIES OF PROFESSIONAL FOREIGN SPEAKING	239

SECTION VII. BRIEF REPORTS

S.G. Tsarichenko, N.I. Konstantinova, O.V. Krivoshapkina, V.V. Kolesnikov	TO THE ISSUE OF HEAT PROTECTION OF SPECIAL EQUIPMENT	247
N.V. Smirnov, N.I. Konstantinova	CONDITION FND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF NORMATIVE BASE POLYMERIC MATERIALS FOR FIRE SAFETY APPLICATION	250

УДК 681.513

Н.К. Полуянович

**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ
ТЯГОВОГО ПРИВОДА ЭЛЕКТРО-ПОДВИЖНОГО СОСТАВА***

В данной работе была рассмотрена общая выпрямительно-инверторная преобразовательная система тяговой подстанции по трехфазной мостовой схеме, нагруженная на тяговый двигатель постоянного тока ЭПС с широтно-импульсным управлением. Составлены принципиальные электрические схемы преобразователя тяговой подстанции на базе силовых ключей типа IGBT большой единичной мощности с учётом тяговых двигателей постоянного тока с импульсным управлением. Описаны результаты разработки полупроводниковой преобразовательной системы тяговой подстанции. На базе комплексной модели проведено математическое моделирование электромагнитных и электромеханических процессов при пуске ЭПС. Рассмотрены пусковой и тяговые режимы электропривода подвижного состава. Показан способ формирования импульсной последовательности из непрерывного сигнала рассогласования для исследования режима пуска тягового электропривода постоянного тока. Приведены результаты моделирования переходного процесса в режиме пуска.

Комплексная модель; тяговый привод; электроподвижной состав.

N.K. Poluyanovich

**CONVERSION SYSTEM INTEGRATED MODEL TRACTION DRIVE
ELECTRIC ROLLING**

It was considered common rectifier inverter conversion system of traction substation for three-phase bridge circuit, loaded on drive DC motor ERS (electric rolling stock) with PWM control. Composed circuit diagrams inverter traction substation based on the type of IGBT power switches with high unit power, with DC traction motors with impulse control. The results of the development of the semiconductor conversion system of traction substation. Based on an integrated model for the mathematical modeling of electromagnetic and electromechanical processes at startup ERS. Consider starting and traction modes electric rolling stock. Shows how the formation of a continuous pulse sequence error signal for the study start mode DC electric traction. The results of modeling the transition process in start-up mode.

Integrated model; traction drive; electrorolling composition.

Введение. Основной эффект экономии электроэнергии в тяговом электроприводе (ТЭП) достигается за счёт максимального повторного использования энергии [1, 3]. Выбор наилучшего варианта преобразовательной системы в задачах повышения энергоэффективности, а именно снижение потерь электрической энергии, сводится не только к возврату рекуперированной энергии в питающую сеть, как это рассмотрено [2]. Здесь рассматривается единая преобразовательная система [2], процессы в тяговой подстанции, в выпрямительно-инверторном преобразователе и двигателем постоянного тока, но не рассматривается режим рекуперации энергии другому ЭПС, находящемуся на том же перегоне [3]. Разработанная в [3] модель взаимодействия систем тяговых электроприводов ЭПС через контактную сеть позволяет исследовать вопросы рекуперации энергии через сеть двух ЭПС, один из которых находится в режиме передачи (рекуперации), другой – приема электроэнергии.

* Работа поддержана грантом РФФИ № 12-08-13112 офи_м_РЖД.

Поэтому актуальность работы заключается в создании комплексной модели, учитывающей процессы при пуске, и в режиме тяги ЭПС в выпрямительном режиме и при рекуперативном торможении в инверторном режиме при передаче энергии другому ЭПС [3].

Комплексная модель преобразовательной системы. Комплексная модель (рис. 1), где в обозначениях элементов индексы П и Т означают соответственно режим пуска и торможения ЭПС, включает в себя тяговую подстанцию Ус – сеть переменного тока; W_1, W_2 – обмотки тягового трансформатора; преобразовательную систему В – трехфазный неуправляемый выпрямитель; И – инвертор ведомый сетью; $K_{1..4}$ – ключи выпрямителя и инвертора; $D_{P1..2}$ – реакторы для уменьшения помех, улучшения коммутации, сглаживания напряжения и уменьшения токов короткого замыкания при аварийных режимах; Дн – датчик напряжения; Укс – контактная сеть; Lф – реактор, сглаживающий пульсации тока в контактной сети; C_ϕ – конденсатор Г-образного фильтра; ОВ – обмотка возбуждения ДПТ; Rш – сопротивление шунта для ослабления возбуждения тягового двигателя; VDo – обратный клапан, через который ток двигателя замыкается при отключении нагрузки от сети; Lн – нагрузочный реактор для сглаживания пульсаций тока в двигателе; $VT_{1..2}$ – IGBT ключи; C, VD, R – демпфирующие цепочки транзисторов. При пуске и в режиме тяги ЭПС работает выпрямитель (замкнуты ключи K1, K2), в рекуперативном торможении работает инвертор, замкнуты ключи K3, K4.

Математическая модель силовой части. Рассмотрим процессы в преобразователях тяговой подстанции по схеме рис. 2, [2]. Электромагнитные процессы работы схемы шестифазного выпрямителя с разделяющей катушкой рассмотрим на интервале

$$0 \leq \omega t \leq \frac{2\pi}{3}.$$

Представим мгновенные значения фазных токов уравнениями в матричной форме i_k^I ($k = I, II, III$):

$$\begin{pmatrix} i_1^I \\ i_2^I \\ i_3^I \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{pmatrix} w_2 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ -1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} i_3^{II} \\ i_4^{II} \end{pmatrix}. \tag{2}$$

Согласно первому закону Кирхгофа:

$$i = i_3^{II} + i_4^{II}. \tag{3}$$

Выразим фазное напряжение обмоток:

$$u_3^{II} = \frac{w_2}{w_1} u_1^I, \quad u_4^{II} = \frac{w_2}{w_1} u_2^I. \tag{4}$$

Уравнения электрического равновесия первичных и вторичных обмоток тягового трансформатора по мгновенным значениям переменных имеют вид:

$$\begin{cases} u_k^I = i_k^I R^I + \frac{d\psi_k^I}{dt}, \quad k = I, II, III; \quad u_k^I = U_m^I \sin \left[\omega t + \varphi + (k - 1) \frac{2\pi}{3} \right] \\ u_3^{II} = i_3^{II} R^{II} + \frac{d\psi_3^{II}}{dt}, \quad u_4^{II} = i_4^{II} R^{II} + \frac{d\psi_4^{II}}{dt} \\ -u_3^{II} = R_3^{II} i + R_{yp} i_3^{II} + L_3^{II} \frac{di}{dt} + L_{yp} \frac{di_3^{II}}{dt} + \frac{1}{C_n} \int idt, \\ -u_4^{II} = R_3^{II} i + R_{yp} i_4^{II} + L_3^{II} \frac{di}{dt} + L_{yp} \frac{di_4^{II}}{dt} + \frac{1}{C_n} \int idt. \end{cases} \tag{5}$$

Мгновенные значения потокосцеплений $\psi_k^I, \psi_3^{II}, \psi_4^{II}$ определяется как сумма проекции векторов потокосцеплений токов i_k^I и i_n^{II} на магнитную ось рассматриваемой фазы:

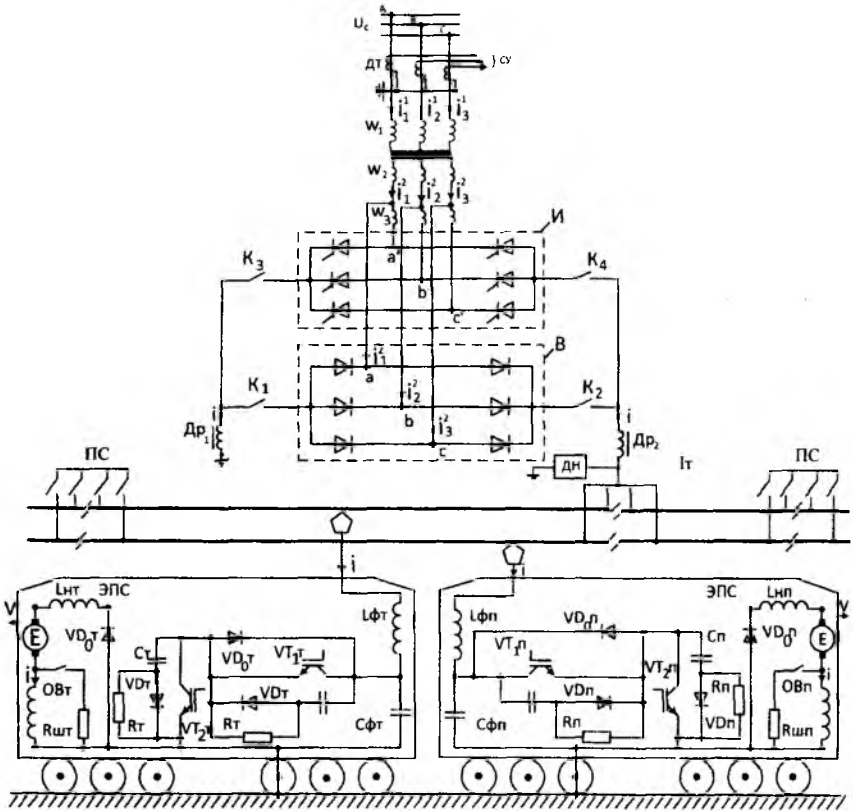


Рис. 1. Комплексная модель взаимодействия двух ЭПС и системы электроснабжения

$$\begin{cases} \psi_k^I = L_s^I i_k^I + \sum_{m=1}^{III} M^I i_m^I \cos(\alpha_m^I - \alpha_k^I) + \sum_{n=3}^4 M^{12} i_n^{II} \cos(\alpha_n^{II} - \alpha_k^I) \\ \psi_n^{II} = L_s^{II} i_n^{II} + \sum_{m=3}^4 M^{II} i_m^{II} \cos(\alpha_m^{II} - \alpha_n^{II}) + \sum_{m=1}^{III} M^{21} i_m^I \cos(\alpha_m^I - \alpha_n^{II}) \end{cases} \quad (6)$$

$k = I, II, III; n = 3, 4$

В уравнениях (5) $C_я = \frac{J}{\kappa_1^2 \Phi^2}$ – эквивалентная емкость якоря двигателя при переходных режимах скорости машины постоянного тока; J – момент инерции вращающихся частей; Φ – магнитный поток якоря; $K_1 = \frac{P N}{a 2\pi}$; P – число пар полюсов; a – число параллельных ветвей; N – общее количество стержней обмоток якоря. Магнитный поток в стали двигателя вследствие действия вихревых токов можно считать постоянным.

$$R_я^{II} = R_H + R_{ОВ} + R_я + R_\Phi + R_p, \quad L_я^{II} = L_H + L_{ОВ} + L_\Phi + L_p.$$

Используя в уравнениях (5, 6) метод комплексных преобразований переменных, после некоторых преобразований для результирующих комплексных обмоточных токов получим:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{3}{2} U_m^I e^{j(\omega t + \alpha_1^I + \varphi)} &= R^I i^I + \left(L_s^I + \frac{3}{2} M^I \right) \frac{dI^I}{dt} + \frac{3}{2} M^{12} \frac{dI^{II}}{dt}, \\ 0 &= M^{21} \frac{dI^I}{dt} - \frac{1}{2} M^{21} e^{j2(\alpha_1^I + 120^\circ)} \frac{dI^I}{dt} + (R^{II} + R_{yp}) I^{II} + \\ &+ \left[L_s^{II} + L_{yp} + \left(1 + \frac{1}{2} e^{-j60^\circ} \right) M^{II} \right] \frac{dI^{II}}{dt} + \frac{\sqrt{3}}{3} M^{II} e^{j2\alpha_1^I} \\ &\left(\frac{1}{2} e^{j150^\circ} - e^{j30^\circ} \right) \frac{dI^I}{dt} + R_3^I e^{j(\alpha_1^I - 30^\circ)} i + L_3^I e^{j(\alpha_1^I - 30^\circ)} \frac{di}{dt} + \\ &+ \frac{1}{C_n} e^{j(\alpha_1^I - 30^\circ)} \int i dt = I e^{j(\alpha_1^I - 30^\circ)} + I^{II} e^{-j(\alpha_1^I - 120^\circ)} \end{aligned} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{aligned} I^I &= \sum_{k=1}^{III} i_k^I e^{j\alpha_k^I}, I^{II} = \sum_{m=3}^4 i_m^{II} e^{j\alpha_m^{II}} \\ I^I &= \sum_{k=1}^{III} i_k^I e^{-j\alpha_k^I}, I^{II} = \sum_{m=3}^4 i_m^{II} e^{-j\alpha_m^{II}} \end{aligned} \right. \quad (8)$$

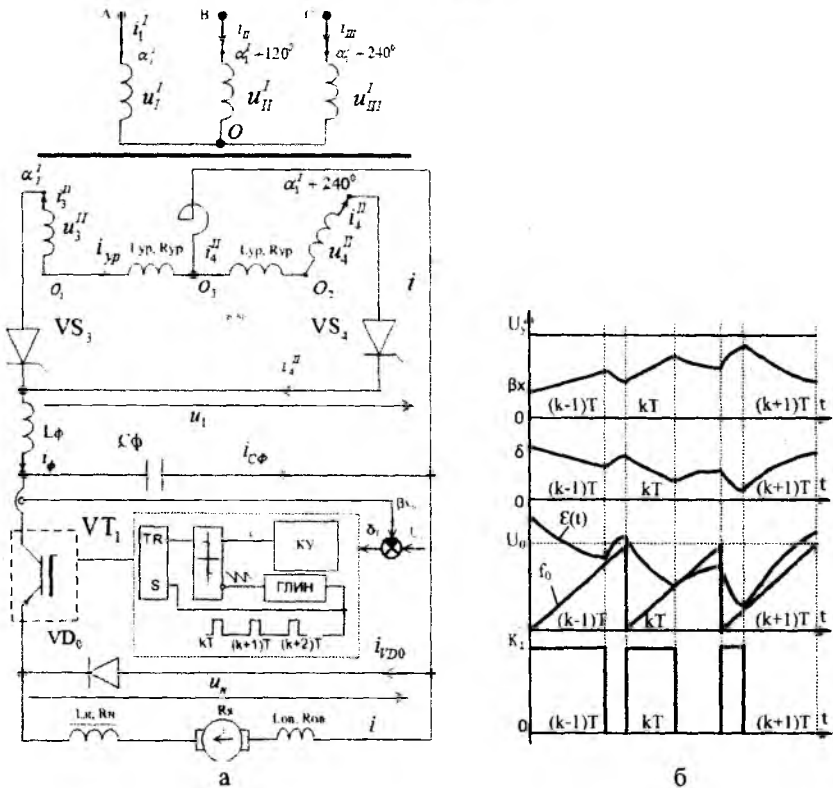


Рис. 2. Преобразовательная система: а – расчетная схема преобразователя во внекоммутационном интервале при открытом состоянии VT_1 , $i_{D0} = 0$, $i_{C\phi} = 0$; б – временные диаграммы работы ШИМ импульсного регулятора

$$\alpha_{II}^I = \alpha_1^I + 120^\circ; \alpha_{III}^I = \alpha_1^I + 240^\circ, \alpha_3^{II} = \alpha_1^I, \alpha_4^{II} = \alpha_1^I + 240^\circ. \quad (9)$$

Обратное преобразование переменных даёт:

$$\begin{cases} i_k^I = \frac{1}{3} (I^I e^{-j\alpha_k^I} + I^I e^{j\alpha_k^I}), k = I, II, III; \\ i_3^{II} = \frac{\sqrt{3}}{3} e^{-j(\alpha_1^I + 330^\circ)} I^{II} - \frac{\sqrt{3}}{3} e^{j(\alpha_1^I + 150^\circ)} I^{II}; \\ i_4^{II} = -\frac{\sqrt{3}}{3} e^{-j(\alpha_1^I + 90^\circ)} I^{II} - \frac{\sqrt{3}}{3} e^{j(\alpha_1^I - 90^\circ)} I^{II}; \\ i = e^{-j(\alpha_1^I - 60^\circ)} I^{II} - e^{j(\alpha_1^I + 60^\circ)} I^{II}. \end{cases} \quad (10)$$

Из уравнений (7) можно получить уравнения для составляющих токов по осям d, q :

$$\begin{bmatrix} dl_d^I/dt \\ di_q^I/dt \\ dl_d^{II}/dt \\ di_q^{II}/dt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_d^I & 0 & M_d^I & 0 \\ 0 & L_d^I & 0 & M_d^I \\ M_{d1}^I & -M_{d2}^I & L_{d1}^{II} & L_{d2}^{II} \\ -M_{q1}^{II} & M_{q2}^{II} & L_{q1}^{II} & L_{q2}^{II} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} e_d(t) - R_d^I i_d^I \\ e_q(t) - R_d^I i_q^I \\ -R_{d1}^{II} * I_d^{II} - R_{d2}^{II} * I_q^{II} - U_{cd} - U_{cg} \\ -R_{q1}^{II} * I_d^I - R_{q2}^{II} * I_q^I - U_{cd} - U_{cg} \end{bmatrix}$$

$$C_{\pi} d_2 \frac{dU_{cd}}{dt} = I_d^I(t), \quad C_{\pi} d_2 \frac{dU_{cg}}{dt} = I_q^I(t).$$

Полученная модель позволяет исследовать электромагнитные переходные процессы в различных режимах работы и интервалах времени от

$$t_{n-1} = \frac{1}{\omega} (n - 1) \left(\frac{2\pi}{3} + \gamma \right) \text{ до } t_n = \frac{1}{\omega} \left[n \left(\frac{2\pi}{3} + \gamma \right) - \gamma \right],$$

$p = 1, 2, 3, \infty$ – номера интервалов.

Математические модели ШИМ. Требованиями к СУ тягового электропривода постоянного тока являются: обеспечение синхронной динамики при различных скоростях движения и мощностях других транспортных средств, находящихся на том же участке контактной сети; минимизация длительности переходных процессов и их аperiodический характер; минимизация статической ошибки регулирования; снижение потерь электрической энергии, рассеиваемой на тормозных и балластных сопротивлениях.

Структура и динамика импульсных регуляторов определяются способом модуляции, она определяется как результат решения функционального уравнения [1]:

$$F(\delta(t - (k - 1)T)) - f_0(t - (k - 1)T) = 0, \quad (k - 1)T \leq t \leq kT, \quad (11)$$

где $F(\delta(t))$ – некоторый функционал от сигнала рассогласования; T – период синхронизации ШИМ; $f_0(t)$ – опорная функция (сигнал пилообразной формы).

Системы с модуляцией заднего фронта и пилообразной опорной функцией, определяемой как (12), а функции коммутации (8):

$$f_G(t) = U_G \left(\frac{t+t_0}{T} - \left(\frac{t+t_0}{T} \right) \text{mod} 1 \right), \quad (12)$$

где U_G – амплитуда пилообразного напряжения; t – время; t_0 – начальное время, меньшее, чем T и различное для независимо работающих регуляторов.

$$\xi(t, B(t)) = \varepsilon(t) - f_G(t), \quad (13)$$

где ε – сигнал с выхода корректирующего устройства (КУ).

Регулятор тока, реализующий ШИМ заднего фронта, приведен на рис. 2,а, где ГЛИН – генератор пилообразного напряжения, x – регулируемая величина (ток якоря ДПТ); β – коэффициент передачи датчика тока; U_{γ} – опорное напряжение; δ – сигнал рассогласования на входе КУ, а временные диаграммы на рис. 2,б. Частота синхронизации ШИМ f ограничена снизу допустимым размахом пульсаций и условиями обеспечения непрерывности тока якоря двигателя, а сверху – быстрым действием силового ключа и допустимыми потерями энергии в преобразователе.

Рассматривается пусковой режим. Примем следующие расчётные параметры элементов модели: $R^I = 0.878 \text{ Ом}$; $R^{II} = 0.561 \text{ Ом}$; $L_s^I = 732 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$; $L_s^{II} = 251 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$; $M^{11} = M^{22} = M^{12} = 579 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$; $R_H = 16 \text{ Ом}$; $L_H = 115 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$; $\alpha_p = \frac{\pi}{9}$; $\Psi_u = \frac{\pi}{6}$; $\gamma = \frac{\pi}{18}$. Кривые переходного процесса для тока (рис. 3,а) и напряжения (рис. 3,б), приведены ниже.

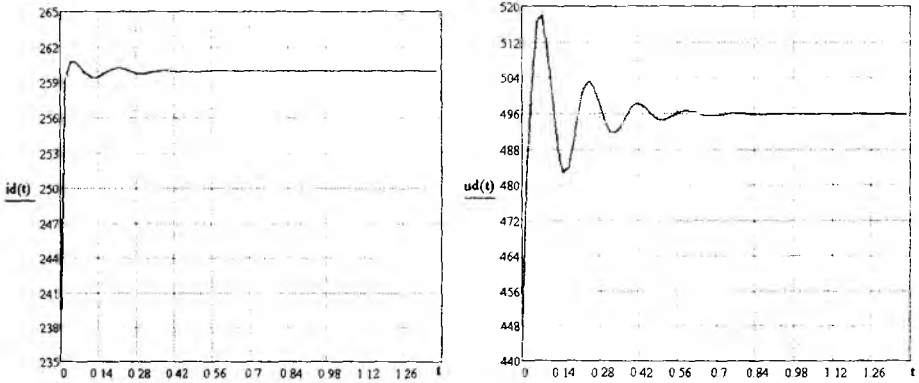


Рис. 3. Моделирование переходного процесса режима пуска

В системе тягового электропривода постоянного тока стационарные процессы в принципе невозможны. При пуске и торможении в течение каждого периода регулирования T число оборотов вала двигателя n соответственно увеличивается или уменьшается на величину $\Delta n \approx 1$ об/мин (эта величина зависит от скорости движения, алгоритма управления движением, массы транспортного средства, уклона пути, условий сцепления колёс с рельсами и т.д.) [1].

Заключение. Рассмотрена комплексная схема выпрямительно-инверторного преобразователя тяговой подстанции с учетом параметров тягового двигателя ЭПС в режимах пуска, тяги и рекуперации энергии. Исследована математическая модель комплексной модели преобразовательной системы в режиме пуска тягового привода электроподвижного состава. Предложенная математическая модель даёт возможность анализа и других режимов работы тягового электропривода постоянного тока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полуянович Н.К., Волощенко Ю.П., Шушанов И.И. Математическая модель тягового электропривода с широтно-импульсным управлением для исследования режима пуска // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 4 (141). – С. 125-131.
2. Кохреидзе Г., Курашвили И., Сихарулидзе А. Преобразовательная система тяговой подстанции по схеме «две обратные звезды с уравнительным реактором» // Энергия. – 2009. – № 3 (51). – С. 59-67.
3. Полуянович Н.К., Волощенко Ю.П., Шушанов И.И. Анализ модели взаимодействия систем тяговых электроприводов электроподвижного состава через контактную сеть // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 7 (144). – С. 195-201.

Статью рекомендовал к публикации д.ф.-м.н., профессор А.А. Лаврентьев.

Полуянович Николай Константинович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: nik1-58@mail.ru, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44; тел.: 89185693365; кафедра электротехники и мехатроники; доцент.

Poluyanovich Nikolay Konstantinovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: nik1-58@mail.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79185693365; the department of electrical engineering and mechatronics; associate professor.

УДК 519.6:532.5

А.В. Никитина, И.С. Семенов

ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ БИОЛОГИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ В АЗОВСКОМ МОРЕ

Разработан параллельный алгоритм, учитывающий архитектуру суперЭВМ с распределенной памятью. Для численного расчета модельной задачи динамики планктонных и рыбных популяций используются методы решения СЛАУ вариационного типа. При решении возникающей СЛАУ методом минимальных поправок для расчета итерационного параметра τ использовался алгоритм сдвигания. Параллельная реализация численного решения СЛАУ на многопроцессорной вычислительной системе с распределенной памятью основана на выделении для каждого процессора части расчетной области с помощью метода k -means. Предлагаемый алгоритм численного решения поставленной задачи на суперЭВМ с использованием метода k -means позволит существенно сократить время работы программного комплекса, численно реализующего описанную модельную задачу динамики взаимодействующих популяций в Азовском море. Использование библиотеки MPI обеспечивает лучшее распределение ресурсов компьютера и прирост эффективности алгоритма на распределенных вычислительных системах. Разработанные модели используются для прогнозирования изменения концентрации биологических популяций в мелководных водоемах.

Математическая модель; планктон; алгоритм; эффективность; k -means; MPI; Азовское море.

A.V. Nikitina, I.S. Semenov

DEVELOPMENT OF METHODS OF THE SOLUTION OF SLAE FOR THE PROBLEMS OF THE DYNAMICS OF POPULATIONS IN RELATION TO THE WATER AREA OF THE AZOV SEA

Developed parallel algorithm that considers the architecture of supercomputers with distributed memory. For numerical computation of the model problem of the dynamics of plankton and fish populations are used methods of the solution of SLAE of variation type. At the decision arising SLAE for calculation of iterative parameter was used by a method of the minimum amendments algorithm of doubling. Parallel implementation of the numerical solution of SLAE on a multiprocessor computer system with distributed memory is based on the allocation for each processor part of the computational domain by the method of k -means. The offered algorithm of the numerical solution of an objective with use of the k -means method will allow reducing by the super computer significantly operating time of the program complex realizing the described model problem of dynamics of interacting populations in the Sea of Azov. Using the MPI library provides a better distribution of the resources of your computer and increases the effectiveness of the algorithm on distributed computing systems. The developed models are used to predict changes in the concentration of biological populations in the shallow waters.

Mathematical model; plankton; algorithm; efficiency; k -means; MPI; the sea of Azov.

Введение. С развитием вычислительной техники возникает необходимость в создании эффективных алгоритмов, предназначенных для высокопроизводительных систем. На сегодняшний день суперЭВМ используются во всех сферах человеческой жизни. При численной реализации математических моделей требуется создание высокоэффективных параллельных алгоритмов. При переходе от непрерывных моде-