

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор БУТЫРИН ПАВЕЛ АНФИМОВИЧ**

**Секция теоретических основ электротехники,  
преобразовательной техники, электротехнических материалов**

**Бутырин П.А.**, член-корр. РАН, председатель секции, **Козлов В.Н.**, доктор техн. наук, проф., **Коровкин Н.В.**, доктор техн. наук, проф., **Коротеев А.А.**, академик РАН, **Лагарьков А.Н.**, академик РАН, **Рашиди-Хасри Ф.** (Швейцария), проф., **Розанов Ю.К.**, доктор техн. наук, проф., **Серебрянников С.В.**, доктор техн. наук, проф.

Научный редактор **Евсеев Б.Н.**

**Секция электроэнергетики**

**Строев В.А.**, доктор техн. наук, проф., председатель секции, **Воропай Н.И.**, член-корр. РАН, **Коган Ф.Л.**, доктор техн. наук, **Кучеров Ю.Н.**, доктор техн. наук, **Новиков Н.Л.**, доктор техн. наук

Научный редактор **Кудинова Л.С.**

**Секция техники высоких напряжений, электрических аппаратов, трансформаторов**

**Белкин Г.С.**, доктор техн. наук, **Корявин А.Р.**, доктор техн. наук, **Раков В.А.**, проф. (США), **Хомич В.Ю.**, академик РАН

Научный редактор **Кудинова Л.С.**

**Секция электрических машин**

**Беспалов В.Я.**, доктор техн. наук, проф., председатель секции, **Ковалев К.Л.**, доктор техн. наук, проф., **Шакарян Ю.Г.**, доктор техн. наук, проф.

Научный редактор **Евсеев Б.Н.**

**Секция электропривода и автоматизации технологических процессов**

**Красовский А.Б.**, доктор техн. наук, проф., председатель секции, **Бааке Э.**, проф. (Германия), **Демидович В.Б.**, доктор техн. наук, проф.

Научный редактор **Евсеев Б.Н.**

Заместитель главного редактора **Б.Н. Евсеев**

Ответственный секретарь **Л.С. Кудинова**

Литературный редактор **Т.П. Александрова**

Младший редактор **Н.В. Чечунова**

Компьютерная верстка **Н.Н. Мерзляков**

Перевод на английский язык **В.И. Филатов**

**Почтовый адрес редакции:** 111250 Москва, Красноказарменная ул. 14  
НИУ «МЭИ», редакция журнала «Электричество»

**Адрес редакции:** Москва, НИУ «МЭИ», каф. ТОЭ, корпус «З», первый этаж

**Телефон (495) 362-7485**

**E-mail: [etr1880@mail.ru](mailto:etr1880@mail.ru); [etr1880@mpei.ru](mailto:etr1880@mpei.ru)**

**<http://etr1880.mpei.ru>**

**Полные тексты статей в формате pdf размещены на сайте**

**Научной электронной библиотеки (НЭБ): [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)**

Подписано в печать 27.05.2019. Формат 60×84 $\frac{1}{8}$ . Тираж 240 экз.  
Бумага офсетная № 2. Печать офсетная. Печ. л. 8,75 Заказ . Цена свободная

Свидетельство о регистрации № 0110272 от 8 февраля 1993 г.  
Министерства печати и информации Российской Федерации

Издатель: НИУ «МЭИ»  
Отпечатано в типографии НИУ «МЭИ».

Theoretical and scientific-practical journal

# ELEKTRICHESTVO

ESTABLISHED IN JULY 1880

**№ 6, 2019**

## FOUNDERS

Russian Academy of Sciences  
(the Division of Power Engineering, Mashinary Construction,  
Mechanical and Control Processes)

## THE EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL ELEKTRICHESTVO

**Editor-in-Chief Pavel A. Butyrin, Corresponding Member  
of the Russian Academy of Sciences, Moscow Power Engineering Institute (MPEI)**

### **Section for Theoretical Principles of Electrical Engineering, Converter Systems, and Electrical Materials**

**P.A. Butyrin** (Moscow), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, MPEI, Section Chairman; **V.N. Kozlov** (St. Petersburg), Dr. Sci. (Eng.), Professor, St. Petersburg State Polytechnic University; **N.V. Korovkin** (St. Petersburg), Dr. Sci. (Eng.), Professor, St. Petersburg State Polytechnic University; **A.A. Koroteyev** (Moscow), Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow Aviation Institute; **A.N. Lagar'kov** (Moscow), Academician of the Russian Academy of Sciences, Institute of Theoretical and Applied Electrodynamics; **F. Rachidi-Haeri** (Lausanne), Professor, Federal Polytechnic Institute in Lausanne (Switzerland); **Yu. K. Rozanov** (Moscow), Dr. Sci. (Eng.), Professor, MPEI; **S.V. Serebryannikov** (Moscow), Dr. Sci. (Eng.), Professor, MPEI.

Scientific Editor **B.N. Yevseyev**

### **Section for Electric Power Engineering**

**V.A. Stroev** (Moscow), Dr. Sci. (Eng.), Professor, MPEI, Section Chairman; **N.I. Voropai** (Irkutsk), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Energy Systems, Siberian Division, Russian Academy of Sciences; **F.L. Kogan** (Moscow), Dr. Sci. (Eng.); **Yu.N. Kucherov** (Moscow), Dr. Sci. (Eng.), OJSC "System Operator of the Unified Energy System"; **N.L. Novikov** (Moscow), Dr. Sci. (Eng.), OJSC "Scientific and Technical Centre of the Federal Grid Company of the Unified Energy System".

Scientific Editor **L.S. Kudinova**

### **Section for High-Voltage Engineering, Electrical Apparatuses, and Transformers**

**G.S. Belkin** (Moscow), Dr. Sci. (Eng.), All-Russian Institute of Electrical Engineering; **A.R. Koryavin** (Moscow), Dr. Sci. (Eng.), All-Russian Institute of Electrical Engineering; **V.A. Rakov**, Professor and Co-Director of ICLRT University of Florida (USA); **V.Yu. Khomich** (Moscow), Academician of the Russian Academy of Sciences, Institute of Electrophysics and Electric Power Engineering, Russian Academy of Sciences.

Scientific Editor **L.S. Kudinova**

### **Section of Electrical Machines**

**V.Ya. Besspalov** (Moscow), Dr. Sci. (Eng.), Professor, MPEI, Section Chairman; **K.L. Kovalev** (Moscow), Dr. Sci. (Eng.), Professor, Moscow Aviation Institute; **Yu.G. Shakaryan** (Moscow), Dr. Sci. (Eng.), Professor, OJSC "Scientific and Technical Centre of the Federal Grid Company of the Unified Energy System".

Scientific Editor **B.N. Yevseyev**

### **Section of Electric Drives and Automation of Technological Processes**

**A.B. Krasovskii** (Moscow), Dr. Sci. (Eng.), Professor, Moscow State Technical University, Section Chairman; **E. Baake** (Hannover), Professor Dr.-Eng., Leibniz University of Hannover (Germany); **V.B. Demidovich** (St. Petersburg), Dr. Sci. (Eng.), Professor, St. Petersburg University of Electrical Engineering.

Scientific Editor **B.N. Yevseyev**

Deputy Editor-in-Chief **B.N. Yevseyev**

Executive Secretary **L.S. Kudinova**

Literature Editor **T.P. Aleksandrova**

Junior Editor **N.V. Chechunova**

Computer-aided make-up **N.N. Merzlyakov**

Translator **V.I. Filatov**

**Editorial office address:** «NRU «Moscow Power Engineering Institute», Krasnokazarmennaya, 14,  
Moscow, 111250 Russia

**tel/fax (495) 362-7485**

**E-mail: [etr1880@mail.ru](mailto:etr1880@mail.ru); [etr1880@mpei.ru](mailto:etr1880@mpei.ru)**

**<http://etr1880.mpei.ru>**

**Full text articles in PDF format available on the website of the**

**Scientific Electronic Library: [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)**

**Publisher of the journal:**

«NRU «Moscow Power Engineering Institute»

ИЗДАЕТСЯ С ИЮЛЯ 1880 ГОДА

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

6  
ИЮНЬ  
2019

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

УЧРЕДИТЕЛЬ: РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК (Отделение энергетики, машиностроения, механики  
и процессов управления)

## СОДЕРЖАНИЕ

## CONTENTS

**Дубенский Г.А., Модестов К.А., Кован Ю.И., Ковалев К.Л., Ларионов А.Е.** Проблемы криогенного охлаждения полупроводниковых вентилей статических преобразователей . . . . .

4

**G.A. Dubensky, K.A. Modestov, Yu.I. Kovan, K.L. Kovalev, A.Ye. Larionov,** Matters Concerned with Using Cryogenic Cooling of Static Converter Semiconductor Switches . . . . .

4

**Геркусов А.А.** Экономико-математическое моделирование воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше . . . . .

13

**A.A. Guerkusov,** Development of the Methodology for Economical-Mathematical Modeling of Overhead Power Lines for Rated Voltages of 110 kV and Higher. . . . .

13

**Гашимов А.М., Гулиев Г.Б., Бабаева А.Р.** Многополюсный контроллер нечеткой логики для усовершенствования управления шунтирующими реакторами . . . . .

26

**A.M. Gashimov, G.B. Guliyeu, A.R. Babaeva,** A Multipole Fuzzy Logic Controller for Improved Control of Shunting Reactors. . . . .

26

**Уфа Р.А., Гаврилов Е.Б., Суслова О.В., Рудник В.Е., Мальцев А.П.** Включение на параллельную работу объединения северной и южной частей энергосистемы Томской области . . . . .

33

**R.A. Ufa, Ye.B. Gavrilov, O.V. Suslova, V.Ye. Rudnik, A.P. Mal'tsev,** Investigation of the Tomsk Region Power System Uniting Options . . . . .

33

**Мыщык Г.С., Тин Аунг Зо, Хейн Зо Хтет.** Синтез трехфазных инверторов повышенной мощности напряжения с амплитудно-импульсной модуляцией выходного напряжения . . . . .

42

**G.S. Mytsyk, Tin Aung Zo, Hein Zo Htet,** Synthesis of Large-Capacity Three-Phase Voltage Inverters with Pulse-Amplitude Modulation of the Output Voltage . . . . .

42

**Бутырин П.А., Дубицкий С.Д., Коровкин Н.В.** Численное моделирование электромагнитных полей: мультифизические задачи, инструментарий и обучение . . . . .

51

**P.A. Butyrin, S.D. Dubitsky, N.V. Korovkin,** Numerical Simulation of Electromagnetic Fields: Multiphysical Problems, Tools and Education . . . . .

51

**Цицикян Г.Н.** О коэффициентах взаимной индукции и силах взаимодействия круговых коаксиальных контуров . . . . .

59

**G.N. Tsitsikyan,** About the Mutual Induction Coefficients and Interaction Forces in Circular Coaxial Loops. . . . .

59

**Кёппен Д., Баакэ Э., Мровка-Новотник Г.** Перемешивание расплава в процессе затвердевания для эффективной фрагментации зерна с использованием импульсных электромагнитных полей . . . . .

66

**Köppen D., Baake E., Mrówka-Nowotnik G.** Stirring of Melt During Solidification |Process for Effective grain fragmentation Using Pulsed Electromagnetic Fields . . . . .

66