

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

**ДИНАМИКА
НЕЛИНЕЙНЫХ
ДИСКРЕТНЫХ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

**Материалы
XIII Всероссийской научно-технической
конференции**

ДНДС–2019

ЧЕБОКСАРЫ

2019

УДК 681.511.42.033(082)

Д44

Редакционная коллегия:

ректор А.Ю. Александров,
д-р техн. наук, профессор Г.А. Белов,
канд. техн. наук, доцент А.В. Серебрянников

*Печатается по решению Ученого совета
Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова*

Динамика нелинейных дискретных электротехнических **Д44** и электронных систем: материалы 13-й Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. 478 с.

ISBN 978-5-7677-2925-8

Рассматриваются вопросы математических основ и математического моделирования нелинейных дискретных систем, цифровой обработки сигналов, построения и анализа устройств и систем силовой электроники, систем электроэнергетики и электропривода.

Для научных работников, инженеров, менеджеров и студентов старших курсов.

УДК 681.511.42.033(082)

© Издательство

ISBN 978-5-7677-2925-8

Чувашского университета, 2019

Наумов В.А., Солдатов А.В., Иванов Н.Г., Глазырин А.В.
(Чебоксары, ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ)

МОНИТОРИНГ ЧАСТОТЫ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ НА ОСНОВЕ ФИЛЬТРОВ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Мониторинг частоты широко используется в цифровых системах релейной защиты и автоматики (РЗА) в различных измерительных органах частоты и скорости изменения частоты, а также для адаптации алгоритмов цифровой фильтрации к актуальной частоте сети [1]. Получение достоверной оценки частоты является необходимым условием эффективной работы РЗА.

Из множества известных методов оценки частоты [2, 3] выгодным отличием метода оценки частоты с использованием разложения входного сигнала по ортогональным составляющим [4] является простота его реализации в цифровых системах РЗА. Это объясняется тем, что измерительные органы РЗА обычно уже содержат в своём составе необходимые цифровые фильтры ортогональных составляющих.

Рассмотрим принцип оценки частоты с использованием разложения сигнала на ортогональные составляющие. Пусть имеется гармонический сигнал

$$x(k) = X_m \cos(\omega k T_s + \psi_0), \quad (1)$$

где $X_m > 0$ и $\omega > 0$ – амплитуда и угловая частота (далее для краткости – частота), T_s – период дискретизации, k – номер отсчета. Для практических целей гармонику (1) представляют в базисе синусоидальных слагаемых некоторой опорной частоты ω_0 , полагая, что её частота имеет девиацию $\Delta\omega$,

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega,$$

тогда

$$\begin{aligned} x(k) &= X_m \cos(\Delta\omega k T_s + \psi_0) \cos(\omega_0 k T_s) - \\ & X_m \sin(\Delta\omega k T_s + \psi_0) \sin(\omega_0 k T_s) = \\ & = c(k) \cos(\omega_0 k T_s) - s(k) \sin(\omega_0 k T_s), \end{aligned}$$

где гармонические функции разностной частоты $\Delta\omega$

$$c(k) = X_m \cos(\Delta\omega k T_s + \psi_0), \quad (2)$$

$$s(k) = X_m \sin(\Delta\omega k T_s + \psi_0) \quad (3)$$

сдвинуты по фазе на 90° , в связи с этим в релейной защите они получили название ортогональных составляющих [5]. При представлении сигнала (1) в комплексной форме, ортогональные составляющие (2) и (3) определяют действительную и мнимую части комплексной амплитуды \underline{X}

$$\underline{X}(k) = c(k) - js(k) = X_m e^{j(\Delta\omega k T_s + \psi_0)}. \quad (4)$$

Как видно из (4), изменение аргумента комплексной амплитуды во времени пропорционально отклонению $\Delta\omega$ частоты сигнала от опорной частоты. Именно это свойство открывает возможность оценки частоты сигнала по выражению

$$f(k) = f_0 + \frac{1}{2\pi} \frac{\psi(k) - \psi(k - M)}{M T_s},$$

где $\psi(k) = \arg \underline{X}(k)$, $M T_s$ – интервал, на котором определяется приращение аргумента комплексной амплитуды (рис. 1).

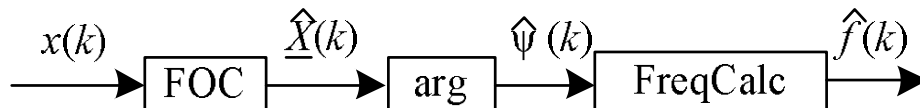


Рис. 1. Схема оценки частоты с использованием классического фильтра Фурье: FOC – фильтр Фурье; arg – оператор определения аргумента комплексного числа; FreqCalc – оператор вычисления частоты

Для разложения сигнала по ортогональным составляющим в РЗА обычно применяют фильтр Фурье с окном настройки, равным одному периоду номинальной частоты. Легко показать, что при отклонении частоты сигнала (1) от номинальной оценка комплексной амплитуды будет иметь две составляющие:

$$\underline{\hat{X}}(k) = \frac{2}{N} \sum_{l=k-N+1}^k x(l) e^{-j\omega_0 l T_s} = \underline{X}_\Delta(k) + \underline{X}_\Sigma(k)$$

где

$$\underline{X}_\Delta(k) = X_m H(\Delta\omega) e^{j(\Delta\omega k T_s + \psi + \xi_\Delta)}$$

– составляющая комплексной амплитуды, вращающаяся на комплексной плоскости с частотой $\Delta\omega$,

$$\underline{X}_\Sigma(k) = X_m H(\omega + \omega_0) e^{-j[(\omega + \omega_0)k T_s + \psi + \xi_\Sigma]}$$

– составляющая суммарной частоты,

$$H(\omega) = \frac{1}{N} \left| \sum_{l=-N+1}^0 e^{j\omega l T_s} \right|,$$

$$\xi(\omega) = \arg \left\{ \frac{1}{N} \sum_{l=-N+1}^0 e^{j\omega l T_s} \right\},$$

$$N = 2\pi / \omega_0 T_s. \quad \underline{X}_\Sigma = 0 \text{ при } \Delta\omega = 0.$$

Скорость изменения аргумента составляющей разностной частоты \underline{X}_Δ совпадает со скоростью изменения аргумента комплексной амплитуды сигнала. Однако составляющая суммарной частоты \underline{X}_Σ вызывает изменяющуюся с частотой 2ω погрешность оценки аргумента во времени. Наибольшее значение погрешности достигает в момент, когда составляющие \underline{X}_Δ и \underline{X}_Σ образуют на комплексной плоскости прямоугольный треугольник (рис. 2):

$$\psi_{\max} = \arcsin \left(\frac{X_\Sigma}{X_\Delta} \right).$$

Эта погрешность приводит к появлению в оценке частоты методической погрешности:

$$\hat{f} = f + \Delta f,$$

где

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi} \frac{2\Delta\psi}{M T_s}. \quad (5)$$

Погрешность (5) также носит колебательный характер и изменяется во времени с частотой 2ω .

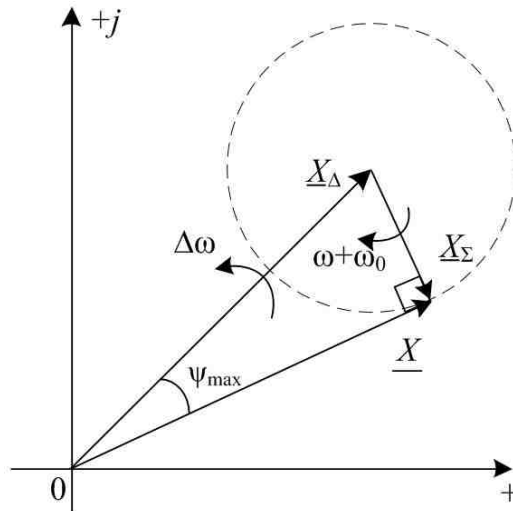


Рис. 2. Иллюстрация механизма возникновения погрешности оценки аргумента комплексной амплитуды

Как видно из (5), погрешность оценки частоты обратно пропорциональна интервалу определения приращения аргумента MT_s . Максимальные значения MT_s ограничиваются требованиями к быстродействию алгоритма оценки частоты, и, как правило, не превышает 0,1 с. При $MT_s = 0,1$ с максимальная погрешность оценки в диапазоне частот от 0,9 до 1,1 f_0 достигает 0,17 Гц (рис. 3), что не приемлемо для задач РЗА.

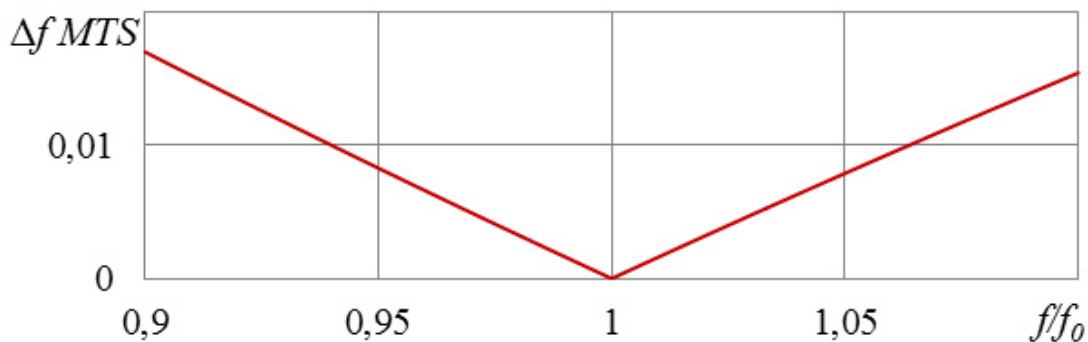


Рис. 3. Методическая погрешность оценки частоты с использованием классического фильтра Фурье

Для повышения точности оценки было предложено использование цифрового фильтра, подавляющего слагаемую $X_Σ$, в сочетании с цифровым фильтром, сглаживающим оценку частоты (рис. 4).

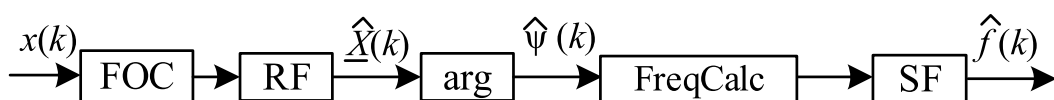


Рис. 4. Схема предложенного алгоритма:
RF и SF – заграждающий и сглаживающий фильтры соответственно

Первый фильтр представляет собой заграждающий фильтр, настроенный на подавление составляющей частоты 2ω , и предназначен для снижения амплитуды X_Σ в оценке комплексной амплитуды и, следовательно, снижает погрешность оценки аргумента. Второй фильтр представляет собой сглаживающий фильтр, предназначенный для подавления колебаний в оценке частоты. Зависимость приведена на рис. 5. Параметры фильтров были оптимизированы для диапазона частот входного сигнала от $0,9$ до $1,1 f_0$. Как видно из рис. 5, максимальная погрешность предложенного алгоритма в указанном диапазоне частот не превышает $0,3$ мГц.

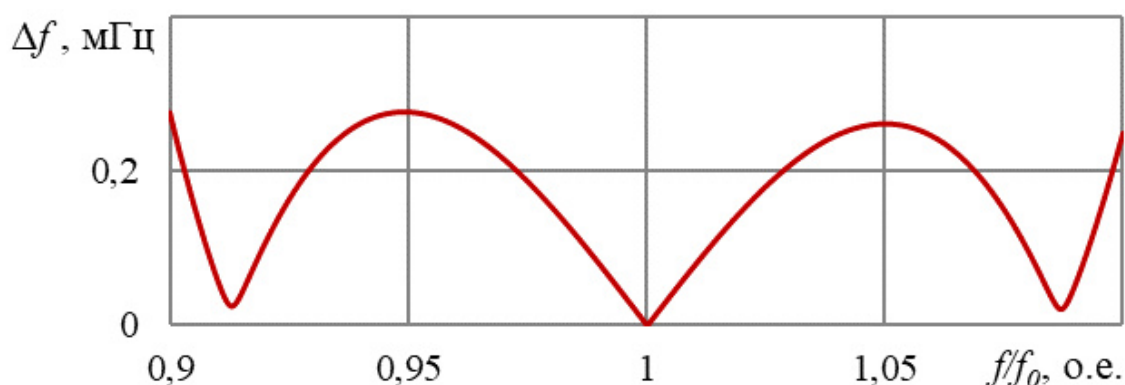


Рис. 5. Методическая погрешность оценки частоты предложенным алгоритмом

Выводы:

1. Использование классического фильтра Фурье не позволяет достичь необходимой точности оценки частоты из-за влияния слагающей суммарной частоты в комплексной амплитуде.

2. Повышение точности возможно за счёт подавления составляющей суммарной частоты заграждающим фильтром в сочетании со сглаживающим фильтром оценки частоты.

Литература

1. Tierney D. et al. Performance of generator protection relays during off-nominal frequency operation // 2014 67th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, 2014. – PP. 450–469.

2. Антонов В.И. Адаптивный структурный анализ электрических сигналов: теория и её приложения в интеллектуальной электроэнергетике. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2018.

3. Антонов В.И., Наумов В.А., Шевцов В.М. Оценка частоты электрической сети: теоретические основы и практические алгоритмы // Цифровая электротехника: проблемы и достижения: сб. науч. ст. – Выпуск 1. – Чебоксары: РИЦ «СРЗАУ», 2012.

4. Антонов В.И. и др. Общие начала теории фильтров ортогональных составляющих // Релейная защита и автоматизация. – 2016. – № 1. – С.16–25.

5. Антонов В.И., Наумов В.А., Солдатов В.А., Иванов Н.Г. Общие закономерности фильтров ортогональных составляющих электрического сигнала // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы 10-й Всерос. науч.-техн. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. – С. 238–240.

Алексеев В.С., Петров В.С.
(Чебоксары, ЧГУ, ООО НПП «ЭКРА»)

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ НА ВЫБОР ХАРАКТЕРИСТИКИ СРАБАТЫВАНИЯ АЛАР

В устройствах автоматики ликвидации асинхронного режима (АЛАР) на дистанционном принципе контролируемым параметром является сопротивление (рис. 1)

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}},$$

где $\underline{U}, \underline{I}$ – напряжение и ток в месте установки устройства.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ. ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	4
<i>Мочалов М.Ю.</i> Матричные методы в исследовании динамики импульсных источников питания.....	4
<i>Семенов Ю.М.</i> Об одной оптимизационной проблеме в теории управляемых объектов	6
<i>Потапов А.А.</i> Фракталы, текстуры и скейлинг в радиофизике и радиоэлектронике: 40 лет научных разработок.....	8
<i>Обычайко Д.С., Шихин В.А.</i> Индикативные диаграммы принятия решения как средство обеспечения эксплуатационной надёжности.....	10
<i>Тобоев В.А.</i> Динамический критерий выявления участков стационарности в случайных процессах	14
<i>Тобоев В.А.</i> Дискретные спектры акустических сигналов ограниченной длительности.....	19
<i>Яушев С.Т., Инсаров А.Т., Файзуллин Р.Р.</i> Оценка степени самоподобия непуассоновского трафика, представленного многомодальным распределением Паскаля.....	23
<i>Макаров А.В., Макаров В.Г., Афанасьев А.Ю.</i> Оптимальное управление гибридной силовой установкой транспортного средства при заданном суммарном моменте.....	25
<i>Макаров А.В., Макаров В.Г., Афанасьев А.Ю.</i> Оптимальное управление гибридной силовой установкой транспортного средства при стационарном движении	27
<i>Дымов И.С., Котин Д.А.</i> Разработка алгоритма адаптивного управления активным электромагнитным подшипником по состоянию	29
<i>Ильин А.А., Родионов Р.В., Скитович С.В.</i> Разработка системы управления вакуумным насосом	31
<i>Малафеев С.И., Малафеева А.А.</i> Взаимодействие оператора и техники в эргатических мехатронных системах.....	33
<i>Малафеев С.И., Малафеева А.А.</i> Управление в мехатронных системах при низких скоростях.....	35

<i>Буткевич Ю.Р., Афанасьев В.В.</i> Математическое моделирование управляемой дискретно-нелинейной системы Ван-дер-Поля.....	37
<i>Давыдов В.Г., Афанасьев В.В.</i> Математическое моделирование дискретно-нелинейной системы Дмитриева–Кислова	39
<i>Герасимов С.С., Афанасьев В.В.</i> Математическое моделирование нелинейных дискретных устройств режекции сигналов системы Чуа	41
<i>Попов Н.С., Аносов В.Н.</i> Повышения энергоэффективности безрельсового транспорта за счет реализации оптимальных алгоритмов управления	43
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ. ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ.....	45
<i>Евдокимов Ю.К., Катков В.И.</i> Метод контроля дуговых и искровых разрядов по их радиочастотному спектру	45
<i>Евдокимов Ю.К., Гладнев К.С.</i> Калориметрический метод контроля тепловыделения в энергетических установках, основанный на применении цифровой модели.....	47
<i>Семенов В.И., Чучкалов С.И., Шурбин А.К.</i> Синтез цифровых фильтров в частотной области.....	49
<i>Изосимова Т.А., Максимова М.В.</i> Функциональная модель системы биометрической идентификации	52
<i>Бычкова И.Ю., Бычков А.В.</i> Возможности комплексного анализа ультразвуковых сигналов в системе контроля и управления вентилятором.....	54
<i>Бычков А.В.</i> Низкочастотные вибрации электрооборудования: ультразвуковой импульсный контроль	58
<i>Иванов А.В., Моряков Р.А., Славутский Л.А.</i> Нейросетевая идентификация квазигармонического сигнала со случайной модуляцией.....	62
<i>Галанина Н.А., Иванова Н.Н.</i> Моделирование методов быстрого спектрального анализа на языке описания аппаратуры VHDL	66

<i>Галанина Н.А., Иванова Н.Н.</i> Реализация алгоритма БПФ конвейерной структуры	68
<i>Курир В.И.</i> Моделирование гидрогенератора с турбиной в Matlab/Simulink	70
<i>Воробьёв С.В.</i> Анализ зоны покрытия сети LTE в советском районе Казани	74
<i>Ахремчик О.Л., Хабаров А.Р.</i> Пространство параметров выбора среды для разработки модели производства электронных приборов	77
<i>Морозов М.В., Слесарева О.В.</i> Моделирование синтеза монослоев MoS ₂ как основы транзистора наноэлектронной системы	79
<i>Зайцев В.В., Чупрушкина М.Н.</i> Модель томсоновского ДВ-автогенератора с разностной схемой прогноза и коррекции	81
<i>Денисов Е.С., Магомедов Х.И.</i> Применение несинусоидального колебания в квадратурном гетеродине для цифровых приемников	83
<i>Зарипов Р.Ф., Фатыхов М.М., Файзуллин Р.Р.</i> Имитационное моделирование оптимизационного полигаусового алгоритма разрешения сигналов на фоне действия хаотических импульсных помех.....	85
<i>Забродин С.А., Урускаев Р.Р.</i> Имитация аэродинамической нагрузки на следящий привод летательного аппарата	87
<i>Григорьев А.В.</i> Выделение одномерного скачка яркости	89
<i>Абросов Я.А., Данилов П.Е.</i> Определение грузоподъемности башенного крана при увеличении высоты подъема.....	91
<i>Ильгачёв А.Н., Михадаров Д.Г.</i> Simulink-модель САР температуры ЭПС с двухпозиционным регулированием	94
<i>Шалимов А.С.</i> Имитация и анализ процессов при дублировании SV-потоков IEC61850-9-2LE.....	97
<i>Охоткин Г.П.</i> Моделирование логических операций над многоразрядными булевыми величинами.....	99
<i>Охоткин Г.П.</i> Моделирование устройств отображения цифровой информации	103
<i>Охоткин Г.П.</i> Моделирование комбинационных двоичных сумматоров	109

<i>Романов Р.А.</i> Определение рабочих точек постоянных магнитов разных типов для магнитной системы сверхминиатюрного вентильного электродвигателя	113
<i>Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.</i> Математическая модель тепловых процессов в кабельной линии электроэнергетических систем.....	118
<i>Петров О.А.</i> Сравнение рассчитанных в Comsol Multiphysics и экспериментальных значений параметров клапанных электромагнитов	123

ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И УСТРОЙСТВА.....

127

<i>Белов Г.А., Петров К.И.</i> Схема управления полумостовым резонансным преобразователем постоянного напряжения типа LLC	127
<i>Белов Г.А., Никольский Н.В.</i> Анализ характеристик резонансного преобразователя постоянного напряжения типа LCL-T	141
<i>Быков К.В.</i> Транзисторные зарядно-выпрямительные устройства для систем оперативного постоянного тока подстанций и электростанций	153
<i>Лазарева Н.М., Яров В.М.</i> Динамические режимы работы трансформатора в регуляторе переменного напряжения	157
<i>Быков К.В., Лазарева Н.М., Лях А.В., Яров В.М.</i> Преобразователь постоянного напряжения в переменное с Z-фильтром на входе	161
<i>Быков К.В., Лазарева Н.М., Павлов Ю.В., Яров В.М.</i> Двухтактный понижающе-повышающий конвертор	165
<i>Быков К.В., Лазарева Н.М., Павлов Ю.В., Яров В.М.</i> Инверторные источники прямоугольного напряжения.....	168
<i>Быков К.В., Лазарева Н.М., Павлов Ю.В., Яров В.М.</i> Понижающе-повышающий конвертор	173
<i>Абрамов С.В., Семенов И.В.</i> Конструирование планарного трансформатора обратного преобразователя.....	178

<i>Абрамов С.В., Тимофеев А.В.</i> Обратнойходовой преобразователь с управлением на первичной стороне на микросхеме UCC28704.....	185
<i>Малинин Г.В.</i> Расчет LCL-фильтра для сетевого инвертора в фотовольтаических приложениях.....	189
<i>Малинин Г.В., Севриков Л.С.</i> Испытания AC/DC преобразователя для питания оптического модема.....	195
<i>Арзамасов В.Л., Малинин Г.В., Селивестров Н.В.</i> Низкочастотный источник питания печи электрошлакового переплава	199
<i>Серебрянников А.В.</i> Моделирование недифференциальной схемы однофазного непосредственного ШИМ-преобразователя переменного напряжения понижающего типа	204
<i>Бутарев И.Ю., Школин А.Н.</i> Сравнительный анализ режимов работы поведенческой модели понижающего ШИМ-контроллера в Matlab/Simulink.....	209
<i>Донской Н.В., Сергеев А.Г.</i> Симметрирование линейных напряжений при шунтировании силовых ячеек многоуровневого преобразователя частоты.....	214
<i>Филиппов В.М., Подгорная С.О.</i> Повышение энергетической эффективности выпрямительно-инверторных преобразователей.....	218
<i>Домахин Е.А., Котин Д.А.</i> Разработка адаптивного алгоритма для обеспечения синхронизации напряжений преобразователя частоты и сети	221
<i>Матвеев Д.А., Бальзамов А.Ю.</i> Перенастраиваемая система управления полупроводниковым преобразователем электроэнергии на ПЛИС.....	223
<i>Димитриев А.А., Никифоров И.К.</i> Модель импульсного преобразователя с частотным регулированием.....	228
<i>Мясникова Т.В., Матюнин А.Н., Кириллова А.А.</i> Моделирование фотоэлектрического преобразования солнечной энергии	230
<i>Морозов Д.С., Афанасьев А.Ю.</i> Фотоэлектрические преобразователи электроэнергии на основе нанотехнологий.....	232

<i>Малышкин С.Б., Генин В.С.</i> Оценка влияния фазы напряжения на время выявления КЗ на модели судовой ЭЭС.....	235
<i>Нестерин В.А., Генин В.С., Нестерин А.В.</i> Установка для контроля гистерезисных параметров высокоэнергетических магнитотвёрдых материалов на образцах постоянных магнитов в разомкнутой магнитной цепи.....	238
<i>Фёдоров А.р.О., Солдатов А.В., Петров В.С.</i> Оценка эффективности выходного фильтра солнечной электростанции	240
<i>Denisov E.S., Demidov A.M., Afonina E.V.</i> IoT based solar panel monitoring and control system.....	247
<i>Беспалов Н.Н., Евишев А.В., Кондрашин Д.С.</i> Исследование относительной погрешности измерения обратного тока силового диода в состоянии низкой проводимости	249
<i>Беспалов Н.Н., Горячкин Ю.В., Дёмкин П.М., Панькин К.Ю.</i> Особенности вольт-амперной характеристики силового диода при воздействии ударного тока с учётом диффузионной ёмкости.....	255
<i>Беспалов Н.Н., Мясин В.Г.</i> Метод определения теплового сопротивления биполярных транзисторов с изолированным затвором.....	259
<i>Беспалов Н.Н., Горячкин Ю.В., Панькин К.Ю., Дёмкин П.М.</i> Исследование стартовых тепловых режимов работы силовых полупроводниковых приборов при различных начальных значениях температуры	262
<i>Беспалов Н.Н., Зорькин А.В.</i> Оценка значений сопротивлений катодных шунтов силовых тиристоров по вольтамперной характеристике цепи управления	266
<i>Жарницкий В.Я., Андреев Е.В., Зайцев Ю.В., Рыбаков Д.А.</i> Датчик температуры на полиэтилене с техническим углеродом.....	272
<i>Шульгин Д.А., Узенбаева С.А.</i> Яркие светодиоды на основе металлоорганических галогенидных перовскитных нанопластинок.....	277

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА
ЭНЕРГОСИСТЕМ279

<i>Кочетов И.Д., Лямец Ю.Я., Мартынов М.В., Маслов А.Н.</i> Метод оценивания распознающей способности релейной защиты.....	279
<i>Кочетов И.Д., Лямец Ю.Я., Мартынов М.В., Маслов А.Н.</i> Нераспознаваемость коротких замыканий вследствие неотличимости от рабочих коммутаций	283
<i>Иванов С.В., Лямец Ю.Я., Макашкин Ф.А.</i> Спектральный анализ двухкомпонентного электрического сигнала на минимальном окне наблюдения	290
<i>Иванов С.В., Лямец Ю.Я., Макашкин Ф.А.</i> Моделирование и анализ асинхронного процесса.....	295
<i>Белянин А.А., Лямец Ю.Я., Чернов А.Ю.</i> Локация однофазного замыкания на землю в фидере распределительной сети	298
<i>Белянин А.А., Лямец Ю.Я., Чернов А.Ю.</i> Локация повреждения при двухстороннем наблюдении линии на малом интервале времени.....	301
<i>Белянин А.А., Маслов А.Н., Смирнова И.В., Широкин М.Ю.</i> Исследование чувствительности дифференциальной токовой защиты трансформатора к внутренним коротким замыканиям на фоне внешних	304
<i>Белянин А.А., Маслов А.Н., Смирнова И.В., Широкин М.Ю.</i> Метод локализации для распознавания внутреннего короткого замыкания на фоне внешнего.....	308
<i>Подшивалин А.Н., Андреев Б.Л.</i> Распознаваемость ошибки в измерениях на цифровой подстанции	313
<i>Подшивалин А.Н., Терентьев Г.В.</i> Способ одностороннего определения места повреждения линий электропередачи	316
<i>Степанова Д.А., Наумов В.А., Антонов В.И.</i> К теории глубокого обучения релейной защиты	319
<i>Кудряшова М.Н., Наумов В.А., Антонов В.И., Иванов Н.Г.</i> Нелинейное аналоговое преобразование входного сигнала в алгоритмах идентификации перемежающегося дугового замыкания	328

<i>Александрова М.И., Наумов В.А., Антонов В.И., Иванов Н.Г.</i> Универсальный метод определения оптимальных условий управляемого включения трехфазного шунтирующего реактора.....	330
<i>Наумов В.А., Солдатов А.В., Иванов Н.Г., Глазырин А.В.</i> Мониторинг частоты в цифровых системах релейной защиты и автоматики на основе фильтров ортогональных составляющих.....	337
<i>Алексеев В.С., Петров В.С.</i> Влияние погрешностей измерения на выбор характеристики срабатывания АЛАР.....	342
<i>Никитина А.Н., Петров В.С.</i> Способ ликвидации асинхронного режима при электрическом центре качания в месте установки устройства.....	348
<i>Ванин В.К., Ванин И.В., Попов М.Г.</i> Воспроизведение первичного напряжения.....	351
<i>Попов М.Г., Захарова Е.В., Васильева О.А., Шахова М.А.</i> Анализ характеристического уравнения эквивалентной энергосистемы.....	355
<i>Коцеев М.И., Славутский Л.А.</i> Возможность использования простых нейросетей для определения места повреждения в энергосистеме	357
<i>Моисеев Д.В., Галанина Н.А.</i> CIM-модель энергообъектов как инструмент интеграции централизованной системы диагностики устройств РЗА.....	361
<i>Тоиходжаева М.И.</i> Перспективы применения современных устройств релейной защиты на воздушных линиях Согдийской энергосистемы	363
<i>Мисбахов Рин.Ш.</i> Комбинированные волоконно-оптические системы мониторинга температуры ЛЭП на основе нелинейного рассеяния и адресных брэгговских структур.....	367
<i>Мисбахов Рин.Ш., Васёв А.Н.</i> Волоконно-оптический датчик акустического обнаружения частичного разряда.....	369
<i>Жарницкий В.Я., Андреев Е.В., Зайцев Ю.В., Рыбаков Д.А.</i> Система оперативного оповещения при прорывах грунтовых плотин энергообъектов.....	371
<i>Хренников А.Ю., Александров Н.М.</i> Оценка механического состояния обмоток силовых трансформаторов.....	378

<i>Хренников А.Ю., Александров Н.М.</i> Моделирование обмотки силового трансформатора для целей частотного анализа	382
<i>Мазнева О.В., Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л.</i> Обработка и классификация сигналов переходного процесса	384
<i>Силанов Д.Н.</i> Цифровая система релейной защиты и управления для распределительных сетей	387
<i>Базаррагча Алтандуулга, Кузьмин А.А., Медведев В.Г., Петров М.И.</i> Система дискретного управления компенсацией ёмкостных токов для цифровых подстанций.....	389
<i>Атаманов М.Н., Дрей Н.М., Зиганишин А.Г., Михеев Г.М.</i> Расчет параметров пассивного фильтра гармоник.....	393

**ДИНАМИКА НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ
В ВЫСШЕМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ
И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ**

397

<i>Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Семенников А.В., Марданов Г.Д., Аввакумов М.В.</i> Использование виртуального прибора LabVIEW для регистрации импульсов частичных разрядов	397
<i>Мишин С.А., Галанина Н.А.</i> Иерархическая система управления роботом.....	399
<i>Иванов В.Н., Михайлов А.Л.</i> Моностатическое рассеяние от покрытий	401
<i>Захаров В.Г.</i> Развитие теории биений для модуляции радиосигналов.....	403
<i>Булатов В.Н., Худорожков О.В., Тимонов Е.С.</i> Оценка метода замещения в фазовых системах аналогового перемножения конъюнкцией	405
<i>Кугушева Н.Н., Семёнов А.С., Якушев И.А.</i> Математическое моделирование сложных электрических цепей в среде Matlab.....	409
<i>Семёнов А.С., Семёнова М.Н.</i> Математическое моделирование систем электроснабжения в пакете программ Matlab	412
<i>Фадеева Л.Ю., Казанцев Е.А.</i> Модель длинной линии с распределенными параметрами и неоднородной поверхностью проводника	416

<i>Янкевич С.В., Афанасьев В.А., Иритков С.А.</i> Холодная пастеризация жидкостей высокоинтенсивным ультразвуком	418
<i>Самсонов А.И., Абрамов С.В.</i> Организация рабочего места современного инженера-электронщика.....	423
<i>Ахметвалеева Л.В., Еникеева Г.Р., Сафин И.И.</i> Применение ПЛИС в системах отладки микроконтроллерных устройств	427
<i>Димитриев А.П.</i> Генетические алгоритмы оптимизации в модели размещения	429
<i>Чертановский А.Г.</i> Быстрый метод Кирхгофа. Формула тока ветви, обусловленного источниками тока	432
<i>Рыбков М.В., Кнауб Л.В.</i> Автоматизированный расчет задач электротехники явными методами	435
<i>Григорьев В.Г., Павлова Н.В.</i> Оптимизационная модель массогабаритных параметров LC-фильтров выпрямителей	437
<i>Чумаров С.Г.</i> Моделирование импульсных усилителей тока в среде Altium Designer.....	439
<i>Чумаров С.Г., Милкин Ю.С.</i> Особенности реализации и применения программно определяемых радиосистем	442
<i>Федорова А.В.</i> Нормирование и измерение сигналов в канале ВЧ связи на ВЛ.....	444
<i>Магнитский В.А.</i> Антенные системы технологии ММО сетей 5G	447
<i>Чумаров С.Г., Ремнев П.Ю.</i> Моделирование спящих режимов пассивных оптических сетей.....	450
<i>Тимофеев И.А., Зайцев Ю.В., Рыбаков Д.А., Мирошниченко А.Ю.</i> Осветительная установка с бегущей световой волной.....	453
<i>Зайцев Ю.В., Рыбаков Д.А., Ткаченко Ю.Н.</i> Многофункциональное световое панно	458
<i>Максимова М.В.</i> Разработка лабораторного практикума «Автоматизированная система полива» на аппаратной платформе Arduino Nano	461
<i>Денисов Е.С., Никишина Г.В., Нуретдинова Л.Ф.</i> Система удаленного мониторинга технического состояния электрохимических аккумуляторов.....	463
<i>Охоткин Г.П., Угарин С.В., Яковлев А.Н.</i> Разработка макета транспортного робота	465

Научное издание

**ДИНАМИКА НЕЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции

Публикуются в авторской редакции
Отв. за выпуск А.В. Серебрянников

Согласно Закону № 436-ФЗ от 29 октября 2010 года
данная продукция не подлежит маркировке

Подписано в печать 04.06.19. Формат 60×84/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 27,7. Уч.-изд. л. 26,5. Тираж 300 экз. Заказ 696.

Издательство Чувашского университета
Типография университета
428015 Чебоксары, Московский просп., 15