

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

пульсного тока позволяет выполнять его обработку стандартными методами. Кроме того, такое представление эталонного сигнала позволяет контролировать частоту формирования прямоугольных импульсов, что в свою очередь упрощает определение периодичности их возникновения и дальнейшего разграничение опасных и неопасных перемежающихся дуговых замыканий.

Таким образом, нелинейное аналоговое преобразование импульсного тока перемежающегося дугового замыкания в эталонный сигнал до его АЦП упрощает и повышает надёжность функционирования защиты от однофазного замыкания на землю.

#### Литература

*Лихачев Ф.А.* Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией ёмкостных токов. – М.: Энергия, 1971. – 65 с.

Александрова М.И., Наумов В.А., Антонов В.И., Иванов Н.Г.  
(Чебоксары, ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ)

### УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ УПРАВЛЯЕМОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ТРЕХФАЗНОГО ШУНТИРУЮЩЕГО РЕАКТОРА

Неуправляемое включение шунтирующих реакторов сопровождается появлением значительной апериодической составляющей в токе, приводя к насыщению силовых и измерительных трансформаторов в прилегающей сети [1, 2]. Аperiодическая составляющая является причиной возникновения значительных ударных токов, оказывающих электродинамическое воздействие на силовое оборудование сети [3]. С целью предотвращения этих негативных последствий используют устройства управляемой коммутации, настраиваемые на включение реакторов в оптимальную фазу.

Включение трехфазного реактора отличается от включения однофазного реактора главным образом из-за взаимной элек-

трической и/или магнитной связи между обмотками фаз. Другими словами, выбор оптимальных фаз включения трехфазных шунтирующих реакторов зависит от схемы соединения обмоток и конструкции магнитопроводов.

В настоящей работе разрабатывается универсальный метод определения оптимальных условий включения всех видов трехфазных шунтирующих реакторов. При этом оптимальность включения рассматривается как обеспечение отсутствия свободной слагаемой в токе реактора.

**Виды трехфазных шунтирующих реакторов и их особенности.** Наиболее распространены четыре схемы соединения обмоток трехфазного шунтирующего реактора с единым магнитопроводом: звезда с заземленной нейтралью, звезда с изолированной от земли нейтралью, четырехлучевая звезда и треугольник. Очевидно, что схемы на рис. 1, *а* и *б* могут рассматриваться как частные случаи схемы *в*, если принять индуктивное сопротивление нейтрального реактора  $X_n = 0$  и  $X_n = \infty$  соответственно.

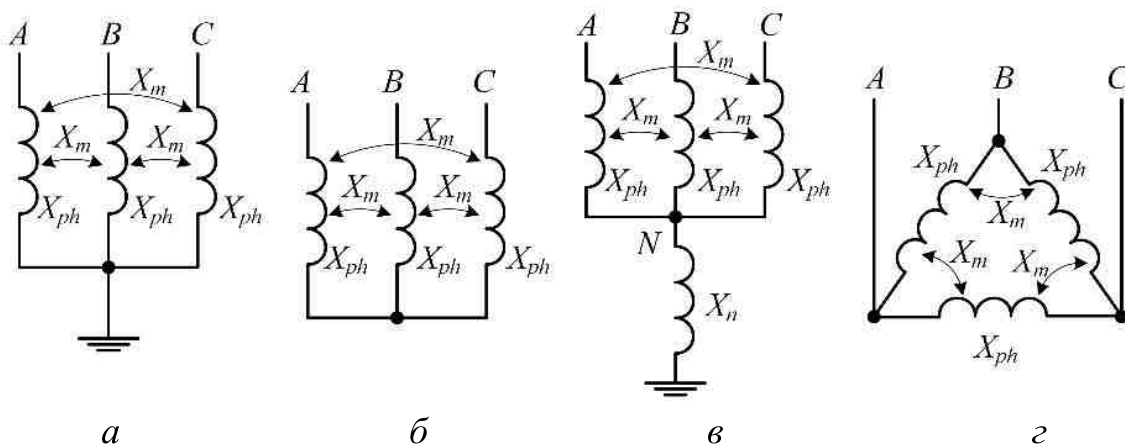


Рис. 1. Схемы соединения обмоток шунтирующего реактора: звезда с заземленной нейтралью (*а*); звезда с изолированной нейтралью (*б*); четырехлучевая звезда (*в*); треугольник (*г*)

Схему соединения в треугольник можно преобразовать по известным формулам в звезду с изолированной нейтралью. При этом сопротивления звезды будут равны

$$X_{ph,Y} = \frac{X_{ph,\Delta} - X_m}{3}.$$

Тогда анализ процессов при коммутации шунтирующего реактора, соединенного в треугольник, также можно рассматривать в эквивалентной схеме реактора в виде четырехлучевой звезды.

Отношение индуктивного сопротивления нейтрального реактора к фазному обозначим как

$$k = X_n / X_{ph},$$

а отношение сопротивления взаимной индукции к фазному сопротивлению как

$$k_m = X_m / X_{ph}.$$

Для реакторов с четырех- и пятистержневым магнитопроводом взаимное влияние фаз отсутствует, поэтому  $k_m = 0$ . В шунтирующих реакторах с трехстержневым магнитопроводом включение одной фазы приводит к появлению напряжения на двух других из-за магнитной связи фаз. Коэффициент  $k_m$  такого реактора находится в диапазоне от  $-0,09$  до  $-0,11$  [4].

Таким образом, трехфазные реакторы всех видов могут быть приведены к реактору с соединением обмоток в четырехлучевую звезду. Следовательно, оптимальные условия включения всех видов шунтирующих реакторов могут быть определены путем анализа процессов при включении трехфазного реактора по схеме четырехлучевой звезды (рис. 1, в).

**Процессы при включении реактора с соединением обмоток в четырехлучевую звезду.** Переходный процесс при включении фазы реактора можно представить в виде наложения процессов в схемах исходного (рис. 2) и дополнительного (рис. 3) режимов. Свободные слагаемые переходного процесса возникают в схеме дополнительного режима, поэтому оптимальный момент включения может быть определен из рассмотрения только этой схемы.

Схемы всех дополнительных режимов представляют собой схемы подключения индуктивности к источнику ЭДС с напряжением, равным напряжению на контактах выключателя  $\underline{U}_{Q,\sigma}$ ,  $\sigma = \overline{A, B, C}$ . Поэтому оптимальный момент включения соответствует фазе напряжения источника в схеме дополнительного режима [5]

$$\arg(\underline{U}_{Q,\sigma}) = 90^\circ. \quad (1)$$

Обычно в качестве опорного сигнала в устройствах управляемой коммутации используется сигнал напряжения одной фазы. Примем для определенности, что синхронизация включения осуществляется по напряжению фазы  $\underline{U}_A$  и производится в последовательности А–В–С. Тогда напряжение на контактах каждой фазы можно выразить через напряжение  $\underline{U}_A$ :

$$\underline{U}_{Q,\sigma} = \underline{U}_A \zeta_\sigma, \quad (2)$$

где коэффициент пропорциональности  $\zeta_\sigma$  вычисляется для соответствующей схемы включения реактора. С учетом условия оптимальности (1) искомая оптимальная фаза включения будет равна

$$\psi_{opt,\sigma} = \arg(\underline{U}_A) = 90^\circ - \arg(\zeta_\sigma). \quad (3)$$

Перед включением первой фазы (рис. 2, а) напряжение на контактах выключателя равно напряжению источника опорной фазы

$$\underline{U}_{Q,A} = \underline{U}_A - \underline{U}_{P,A} = \underline{U}_A.$$

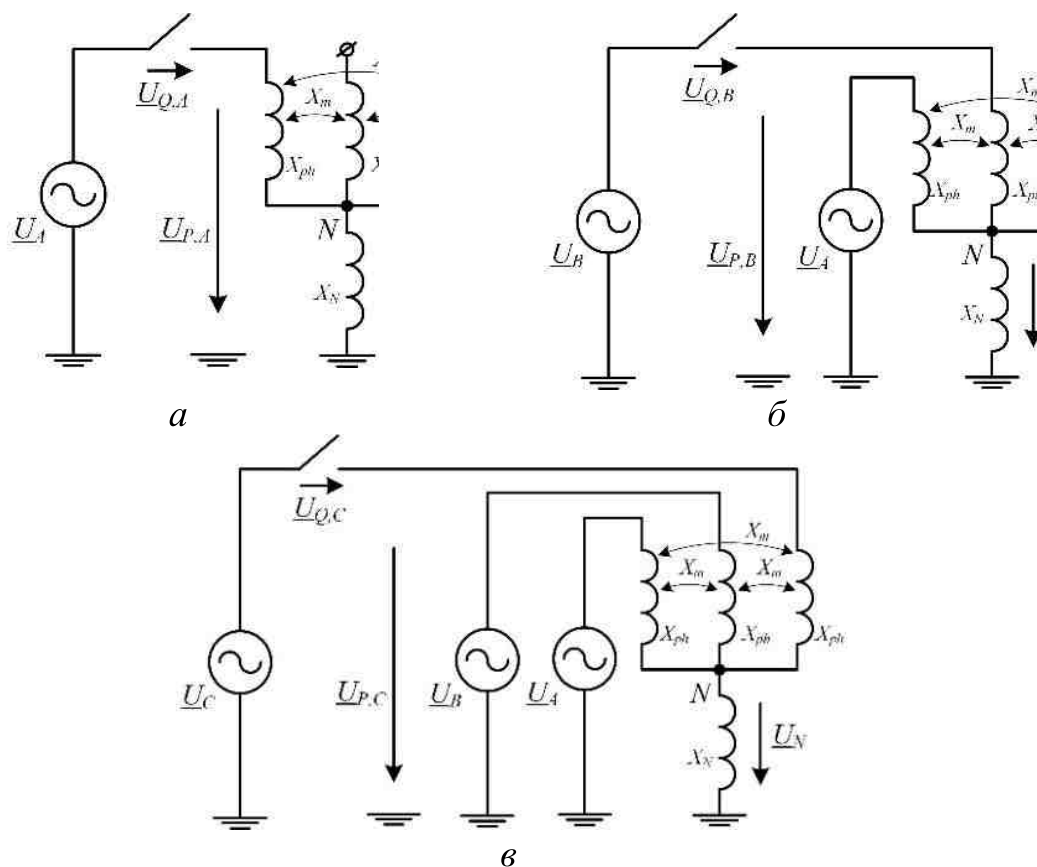


Рис. 2. Схемы исходного режима включения ветвей шунтирующего реактора фазы А (опорной) (а), фазы В (б) и фазы С (в)

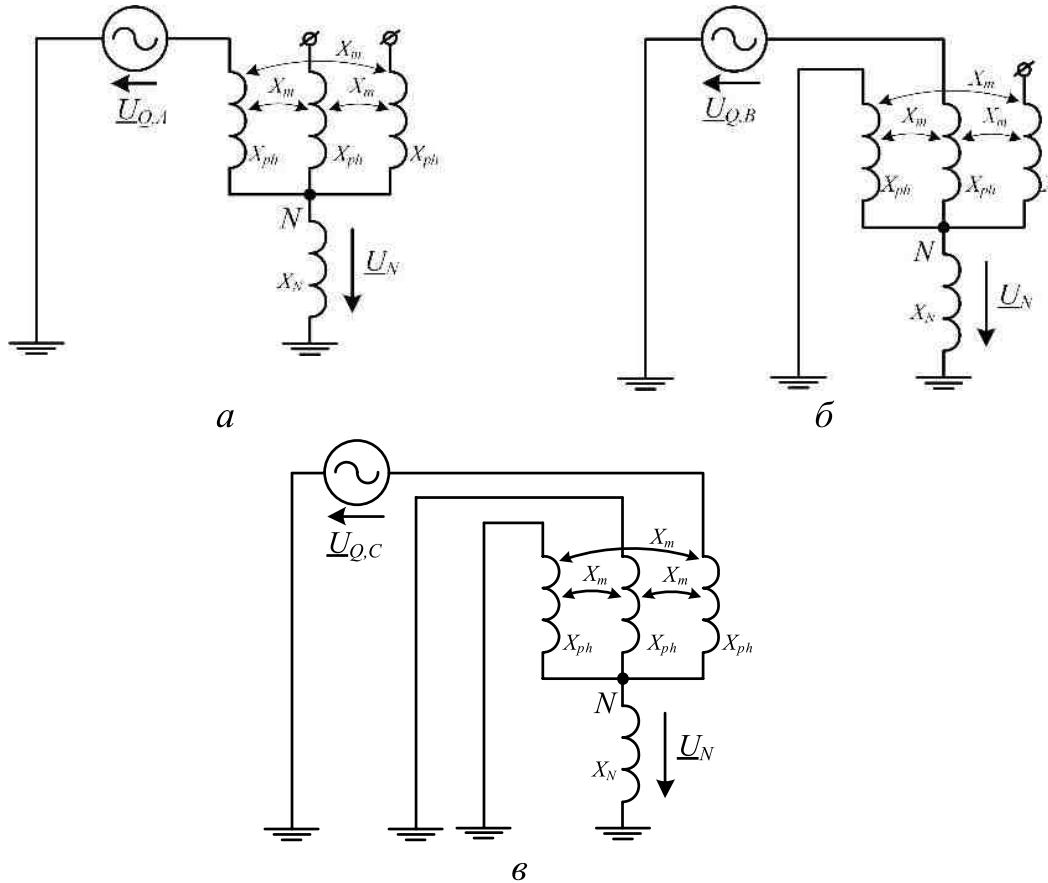


Рис. 3. Схемы дополнительного режима включения ветвей шунтирующего реактора фазы  $A$  (опорной) (а), фазы  $B$  (б) и фазы  $C$  (в)

Следовательно,  $\zeta_A = 1$  и оптимальное включение будет обеспечиваться при фазе напряжения источника  $\underline{U}_A \quad \psi_{opt,A} = 90^\circ$ .

Как видно из рис. 2, б, включение первой фазы поднимет потенциал нейтрали  $N$  до уровня

$$\underline{U}_{P,B} = \underline{U}_A \frac{X_n + X_m}{X_n + X_{ph}} = \underline{U}_A \frac{k + k_m}{k + 1}.$$

Тогда выражение для напряжения на контактах выключателя

$$\underline{U}_{Q,B} = \underline{U}_B - \underline{U}_{P,B}$$

будет связано с опорным напряжением согласно (2) с помощью коэффициента

$$\zeta_B = e^{j\psi_B} - \frac{k + k_m}{k + 1}.$$

В схеме включения третьей фазы (рис. 2, в) коэффициент пропорциональности равен

$$\underline{\zeta}_C = e^{j\psi_C} \left( 1 + \frac{X_n + X_m}{X_{ph} + X_m + 2X_n} \right).$$

**Оптимальные условия включения трехфазных шунтирующих реакторов.** Примем, что источник питания представлен трехфазной симметричной системой с прямым чередованием фаз. Оптимальные фазы включения трехфазных шунтирующих реакторов для различных схем соединения его обмоток приведены в таблице.

Поскольку в схеме соединения обмоток реактора в звезду с изолированной нейтралью включение первой фазы не приводит к протеканию тока, то первая фаза может включаться при любом угле. Тогда следующие две фазы могут включаться на половину периода раньше при угле напряжения на контактах  $-90^\circ$ . Оптимальный момент включения второй фазы согласно (3) будет при  $\psi_{opt,B} = -90^\circ + 150^\circ = 60^\circ$ , а третьей фазы в соответствии с (3) – при угле  $\psi_{opt,C} = -90^\circ + 240^\circ = 150^\circ$ . Обычно включение первой и второй фазы осуществляют одновременно; оптимальная фаза включения соответствует фазе напряжения  $A$ , равной  $60^\circ$  [6].

Оптимальные фазы включения шунтирующего реактора

Соединение обмоток	Число стержней магнитопровода	Фаза $A$	Фаза $B$	Фаза $C$
Звезда с заземленной нейтралью	4 или 5	$90^\circ$	$210^\circ$	$330^\circ$
	3	$90^\circ$	$90^\circ - \arg\left(e^{-j120^\circ} + k_m\right)$	$330^\circ$
Звезда с изолированной нейтралью	3–5	$60^\circ$ (фазы $A$ и $B$ включаются синхронно)		$150^\circ$
Треугольник				
Четырехлучевая звезда	4 или 5	$90^\circ$	$90^\circ - \arg\left(e^{-j120^\circ} - \frac{k}{k+1}\right)$	$330^\circ$
	3	$90^\circ$	$90^\circ - \arg\left(e^{-j120^\circ} - \frac{k-k_m}{k+1}\right)$	$330^\circ$



## Заключение

1. Для обеспечения универсальности метода анализа условий включения предлагается представлять схемы замещения трехфазных реакторов в виде четырехлучевой звезды.

2. Удобно вести анализ процессов включения реактора по методу приведения к нулевым начальным условиям. Учитывая, что сам принцип управляемого включения избавляет ток реактора от свободных составляющих, анализ управляемой коммутации можно производить в схемах установившегося режима.

## Литература

1. CIGRE WG 13.07, Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers // Guide for Application Lines, Reactors, Capacitors, Transformers. 1st Part, ELECTRA. – 1999. – No. 183. – PP. 65–96.

2. CIGRE WG 13.07, Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers // Guide for Application Lines, Reactors, Capacitors, Transformers. 2nd Part, ELECTRA. – 1999. – No. 185. – PP. 36–61.

3. CIGRE WG A3.07, Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers. Planning, Specification and Testing Of Controlled Switching Systems // CIGRE Technical Brochure. – 2004. – No. 264. – 55 p.

4. IEC 60076-6 International Standard. Power transformers. – Part 6: Reactors, 2007.

5. *Александрова М.И. и др.* Универсальные принципы управляемой коммутации силового электрооборудования // Релейная защита и автоматизация. – 2016. – № 1 (34). – С. 49–54.

6. Switchsync PWC600. Technical manual. – 2017. – URL: <http://search-ext.abb.com/library>.

## 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
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ. ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ.....</b>	<b>45</b>
<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 <sub>2</sub> 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-потокa 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 ЭНЕРГОСИСТЕМ .....	279
<i>Кочетов И.Д., Лямец Ю.Я., Мартынов М.В., Мас- лов А.Н.</i> Метод оценивания распознающей способности релейной защиты.....	279
<i>Кочетов И.Д., Лямец Ю.Я., Мартынов М.В., Мас- лов А.Н.</i> Нераспознаваемость коротких замыканий вследствие неотличимости от рабочих коммутаций .....	283
<i>Иванов С.В., Лямец Ю.Я., Макашкин Ф.А.</i> Спектраль- ный анализ двухкомпонентного электрического сигнала на минимальном окне наблюдения .....	290
<i>Иванов С.В., Лямец Ю.Я., Макашкин Ф.А.</i> Моделиро- вание и анализ асинхронного процесса.....	295
<i>Белянин А.А., Лямец Ю.Я., Чернов А.Ю.</i> Локация однофазного замыкания на землю в фидере распре- делительной сети .....	298
<i>Белянин А.А., Лямец Ю.Я., Чернов А.Ю.</i> Локация по- вреждения при двухстороннем наблюдении линии на малом интервале времени.....	301
<i>Белянин А.А., Маслов А.Н., Смирнова И.В., Широ- кин М.Ю.</i> Исследование чувствительности дифферен- циальной токовой защиты трансформатора к внутрен- ним коротким замыканиям на фоне внешних .....	304
<i>Белянин А.А., Маслов А.Н., Смирнова И.В., Широ- кин М.Ю.</i> Метод локализации для распознавания внут- реннего 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., Ива- нов Н.Г.</i> Нелинейное аналоговое преобразование вход- ного сигнала в алгоритмах идентификации перемежа- ющегося 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> СИМ-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