



20-23 АПРЕЛЯ 2021 ГОДА

Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары,
пр-т Тракторостроителей, д. 103 «А»

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Материалы научно-технической конференции
молодых специалистов форума «РЕЛАВЭКСПО-2021»

Организаторы



ИНЭК



ООО «ИЦ «СРЗАУ»



ИП «СРЗАУ»



ЧГУ



АЭН-СР

При поддержке



аigre
Инновационный
Клиент

Генеральные спонсоры

ЭКРА



Релематика

Официальный спонсор

ЧЭАЗ

ЧЕБОКСАРСКИЙ ЭЛЕКТРОПАРАТНЫЙ ЗАВОД

При участии



РОССЕТИ



РусГидро

Спонсоры

ЭМАРА



БРЕСЛЕР

iGrids

ИНТЕГРАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ



Ростелеком



Динамика
научно-производственное предприятие

Официальные медиа-партнеры



РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА
И АВТОМАТИКА
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕЧАТСТВО



ЭЛЕКТРО
ЭНЕРГИЯ



ЦИФРОВАЯ
ПОДСТАНЦИЯ



ЭНЕРГЕТИКА
И ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
РОССИИ

Партнер регистрации



РЕГИСТРАЦИОННОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ

Медиа-партнеры

НОВОСТИ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ
www.enr.ru

ПРОМЫШЛЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ

РЫНОК
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ
www.electro.ru

ТЕХНИЧЕСКИЙ
ОПОНЕНТ
www.oponent.ru



Инновационный электротехнический кластер Чувашской Республики
Академия электротехнических наук Чувашской Республики
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова
Подкомитет Б5 «Релейная защита и автоматика»
Российского национального комитета СИГРЭ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

**Материалы
научно-технической конференции
молодых специалистов форума
«РЕЛАВЭКСПО-2021»**

Чебоксары
2021

УДК621.311-52+621.316.925](063)

ББК27-051я43

С23

Редакционная коллегия:

В.И. Антонов, доктор технических наук, гл. редактор

Г.С. Нудельман, кандидат технических наук, зам. гл. редактора

В.Г. Ковалев, кандидат технических наук

А.В. Жуков, кандидат технических наук

А.В. Мокеев, доктор технических наук

В.И. Нагай, доктор технических наук

В.А. Шуин, доктор технических наук

В.А. Наумов, кандидат технических наук

В.С. Петров, кандидат технических наук

С23 **Современные** тенденции развития цифровых систем релейной защиты и автоматики: материалы науч.-техн. конф. молодых специалистов форума «РЕЛАВЭКСПО-2021». – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. – 226 с.

ISBN 978-5-7677-3248-7

Представлены доклады научно-технической конференции молодых специалистов, состоявшейся в рамках форума РЕЛАВЭКСПО-2021. В сборнике приведены результаты актуальных научных исследований в области совершенствования алгоритмов релейной защиты и автоматики энергосистем, технологий цифровой обработки сигналов, векторных измерений и методов искусственного интеллекта в релейной защите. Рассматриваются научные и практические вопросы кибербезопасности цифровых устройств релейной защиты, её работа в сетях с распределенной генерацией, моделирование электроэнергетических систем для целей релейной защиты и автоматики, надежности релейной автоматики.

Для преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов старших курсов энергетических специальностей вузов, инженерно-технического персонала предприятий и энергосистем.

ISBN 978-5-7677-3248-7

УДК 621.311-52+621.316.925](063)

ББК 27-051я43

© Издательство

Чувашского университета, 2021

сопоставления восстановленного тока с током на участках правильной трансформации.

Заключение

В основе процедуры восстановления искаженного тока лежит операция объединения информации с интервалов неискаженной и искаженной трансформации. Принятие допущений (1) – (4) и (6) – (7) позволяет ограничиться для восстановления двумя отсчетами тока на участке неискаженной трансформации и тремя – на участке искаженной. Об эффективности предлагаемого метода можно судить исходя из сопоставления восстановленного тока с током сети, либо с током на участках правильной трансформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лямец, Ю.Я.* Мониторинг процессов в электрической системе / [Текст] / Ю.Я. Лямец, Ю.В. Романов, Д.В. Зиновьев // *Электричество*. - 2006. -- № 10. -- С. 2 -- 10; № 11. С. 2 - 10.

2. *Wiszniewski, A.* Correction of current transformer transient performance [Text] / A. Wiszniewski, W. Rebizant, L. Schiel // *IEEE Trans. Power Deliv.* – 2008. – Vol. 23. – No. 2. – P. 624 - 632.

3. *Кужеков, С.Л.* Анализ способов восстановления информации о первичном токе трансформатора тока, работающего с насыщением сердечника [Текст] / С.Л. Кужеков, А.А. Дегтярев, Б.Б. Сербиновский // *Релейная защита и автоматизация*. – 2017. -- № 3. – С. 43 - 51.

Авторы:

Лямец Юрий Яковлевич, сведения об авторе приведены на стр. 10.

Никонов Иван Юрьевич, сведения об авторе приведены на стр. 10.

Петряшин Илья Евгеньевич, сведения об авторе приведены на стр. 17.

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В УСТРОЙСТВАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АПВ ЛЭП С ШУНТИРУЮЩИМИ РЕАКТОРАМИ

Иванов Н.Г., ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. E-mail: ivanov_ng@ekra.ru.

Александрова М.И., ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. E-mail: aleksandrova_mi@ekra.ru.

Воробьев Е.С., ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. E-mail: vorobev_es@ekra.ru.

Антонов В.И., ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. E-mail: antonov_vi@ekra.ru.

Наумов В.А., ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. E-mail: naumov_va@ekra.ru.

***Аннотация:** Интеллектуальное АПВ, основанное на выборе оптимального момента повторного включения линии, является одним из эффективных методов предотвращения опасных коммутационных перенапряжений, возникающих в цикле АПВ протяженных ЛЭП сверхвысокого напряжения. Для реализации наиболее эффективного алгоритма интеллектуального АПВ принципиально необходимо применение алгоритмов предсказания сигналов на основе методов адаптивного структурного анализа. В работе предлагается новый способ прецизионного распознавания сигнала напряжения ЛЭП с шунтирующими реакторами в паузе цикла трехфазного АПВ, основанный на методе адаптивного структурного анализа и обладающий более высокой точностью по сравнению с классической реализацией этого метода.*

***Ключевые слова:** интеллектуальное АПВ, адаптивный структурный анализ, распознавание сигнала*

Постановка задачи

Преимущество технологии интеллектуального АПВ заключается в снижении интенсивности электромагнитного переходного процесса за счет прецизионного управления моментом повторного включения ЛЭП [1 – 3]. Поскольку команда включения подается на выключатель с опережением, равным времени его действия, то для принятия решения устройство должно предсказывать напряжение на контактах выключателя.

При предсказании напряжения на контактах выключателя нужно различать процессы при однофазном и трехфазном АПВ.

При ОАПВ восстанавливающееся напряжение отключенной фазы, обусловленное взаимной электрической и магнитной связью с неповрежденными фазами, содержит две составляющие близкой частоты: принужденную составляющую, наводимую от «здоровых» фаз, и свободную составляющую.

В паузе цикла трехфазного АПВ характер колебательного разряда распределенной емкости линии электропередачи через индуктивность реактора зависит от предшествующего режима. Если отключению предшествует несимметричный режим линии (например, несимметричное короткое замыкание), колебательный свободный процесс происходит одновременно во всех схемах симметричных составляющих. Параметры схем прямой и обратной последовательности, будучи одинаковыми, отличаются от параметров схемы нулевой последовательности, главным образом, из-за разницы в распределенной емкости линии. Поэтому напряжение ЛЭП в паузе цикла трехфазного АПВ в общем случае содержит две составляющие с близкими частотами: первая из них связана со свободным процессом в контурах прямой и обратной последовательностей, а вторая – с процессом в контуре нулевой последовательности.

Таким образом, стратегия интеллектуального АПВ, подразумевающая повторное включение ЛЭП в заданный момент времени, требует применения методов распознавания и предсказания многокомпонентных сигналов свободного процесса. Одним из таких методов является адаптивный структурный анализ [4, 5].

Модель сигнала для предсказания напряжения на контактах выключателя может быть получена двумя способами. В первом способе составляющие модели получают как сумму составляющих сигналов напряжения шин и напряжения ЛЭП. Второй способ подразумевает определение компонентов модели по отсчетам сигнала напряжения на контактах выключателя, полученным в результате суммирования отсчетов напряжений шин и ЛЭП [6]. Однако при распознавании сигнала напряжения на контактах выключателя условия настройки адаптивной структурной модели существенно усложняются из-за наличия в сигнале принужденной и свободной составляющих с близкими частотами. Это приводит к усилению конкуренции между фильтрами эффективного ядра адаптивной структурной модели, приводя к снижению точности распознавания параметров сигнала.

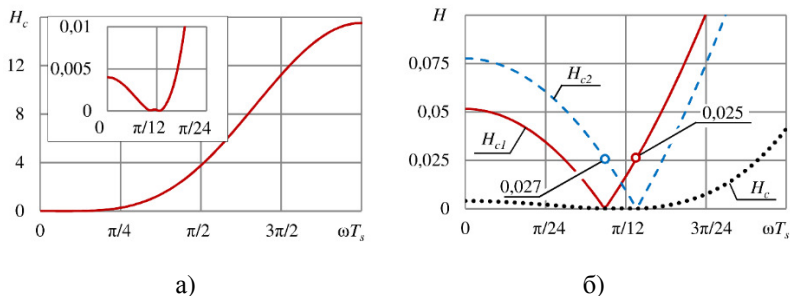


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики фильтра эффективного ядра (а) и канонических фильтров эффективного ядра (б)

Иллюстрация конкуренции фильтров приведена на рис. 1. Здесь кривая H_c – результирующая АЧХ фильтра эффективного ядра, кривые H_{c1} и H_{c2} – АЧХ канонических фильтров эффективного ядра – фильтра свободной составляющей прямой и нулевой последовательностей соответственно. Как видно из АЧХ, фильтр прямой последовательности (кривая H_{c1}) ослабляет сигнал нулевой последовательности (коэффициент передачи равен 0,025), тем самым мешает настройке фильтра нулевой последовательности. Аналогично фильтр нулевой последовательности ослабляет сигнал прямой последовательности. Таким образом, конкуренция канонических фильтров эффективного ядра приводит к снижению точности оценок, что особенно сильно проявляется при наличии в сигнале шумов.

В данной работе рассматриваются новые принципы предсказания напряжения свободного процесса в паузе цикла АПВ ЛЭП с ШР, повышающие точность предсказания.

Адаптивный структурный анализ

Предсказание сигнала с применением адаптивного структурного анализа предусматривает формирование его компонентной модели в виде суммы составляющих и экстраполяцию сигнала.

Распознавание сигнала осуществляется в два этапа. На первом из них определяется структура сигнала и комплексные

частоты его составляющих. Для этого используется структурная модель сигнала

$$a_0 \hat{x}(k) = - \sum_{m=1}^M a_m x(k - mv), \quad (1)$$

где $a_0 \hat{x}(k)$ – взвешенная с коэффициентом a_0 оценка текущего отсчета сигнала $x(k)$, a_m – искомые коэффициенты модели, M – порядок модели, v – коэффициент внутримодельной децимации. Коэффициент a_0 может быть произвольным, обычно $a_0 = 1$. Настройка структурной модели осуществляется на заданной выборке отсчетов сигнала размера N по критерию наименьших квадратов

$$E(k) = \sum_{l=k-N+1}^k e(l)^2 \xrightarrow{a_m} \min, \quad (2)$$

где

$$e(k) = [a_0 x(k) - a_0 \hat{x}(k)] - \quad (3)$$

сигнал невязки модели.

Корни характеристического полинома структурной модели

$$P(\underline{\zeta}) = \sum_{m=0}^M a_m \underline{\zeta}^{-m},$$

определяют комплексные частоты слагаемых

$$\underline{p}_i v T_s = (\alpha_i + j\omega_i) v T_s = \ln \underline{\zeta}_i,$$

где T_s – интервал дискретизации сигнала. В общем случае часть корней $\underline{\zeta}_i$ ассоциирована со слагаемыми измеряемого напряжения (образуют эффективное ядро структурной модели), а другая часть – с шумом в сигнале (образуют фильтр шума). Поэтому для следующего этапа структурного анализа отбираются только те корни, которые согласованы с полезными слагаемыми.

На втором этапе распознавания полезных составляющих входного сигнала составляется компонентная модель

$$\hat{x}(k) = \sum_{m=1}^{M_c} \underline{A}_m e^{(-\alpha_m + j\omega_m)kT_s}, \quad (4)$$

где M_c – порядок модели.

Комплексные амплитуды слагаемых сигнала A_m определяются путем настройки компонентной модели сигнала, которая, как и в случае структурной модели осуществляется по критерию наименьших квадратов (2). Экстраполяция сигнала осуществляется по выражению (4).

Повышение разрешающей способности адаптивной структурной модели

Как было сказано ранее, распознавание и предсказание сигнала напряжения ЛЭП в паузе цикла трехфазного АПВ вызывает сложности, поскольку он содержит две свободные составляющие с близкими частотами [7]. Из-за конкуренции фильтров этих составляющих происходит снижение точности распознавания параметров сигнала.

Для повышения точности предсказания напряжения ЛЭП в паузе цикла трехфазного АПВ был разработан новый способ цифровой обработки сигнала, основанный на использовании процедур адаптивного структурного анализа и обладающий лучшей точностью по сравнению с классическими алгоритмами адаптивного структурного анализа. Идеи нового метода заключаются в одновременном использовании информации, заключенной в сигналах напряжений всех фаз, и устранении взаимной конкуренции между каноническими фильтрами свободных составляющих.

Сравнительное исследование характеристик классического алгоритма адаптивного структурного анализа и нового способа проводилось на примере распознавания сигналов фазных напряжений ЛЭП в паузе трехфазного АПВ, содержащих белый гауссовский шум. Для оценки эффективности устранения конкуренции между каноническими фильтрами эффективного ядра были проведены эксперименты по распознаванию сигналов, содержащих составляющие с частотами, отличающимися на 10 Гц ($f_{12} = 43,44$ Гц и $f_0 = 53,44$ Гц) и 3 Гц ($f_{12} = 43,44$ Гц и $f_0 = 46,44$ Гц).

Результаты экспериментов (рис. 2) показывают, что:

1) конкуренция между каноническими фильтрами эффективного ядра негативно сказывается на точности

классического алгоритма адаптивного структурного анализа: при уменьшении разности частот с 10 Гц до 3 Гц погрешность оценки частоты увеличивается более чем на порядок (кривые 2 и 4 на рис. 2);

2) в новом способе полностью устранена конкуренция между каноническими фильтрами эффективного ядра, поэтому ему удается сохранить точность и при уменьшении разности частот составляющих напряжения с 10 до 3 Гц (кривые 1 и 3 на рис. 2 совпадают);

3) новый способ обеспечивает лучшую точность оценки частот составляющих сигнала по сравнению с классическим алгоритмом: погрешность оценки частоты снижается до 6,5 раз при разности частот 10 Гц, и до 210 раз при разности частот 3 Гц.

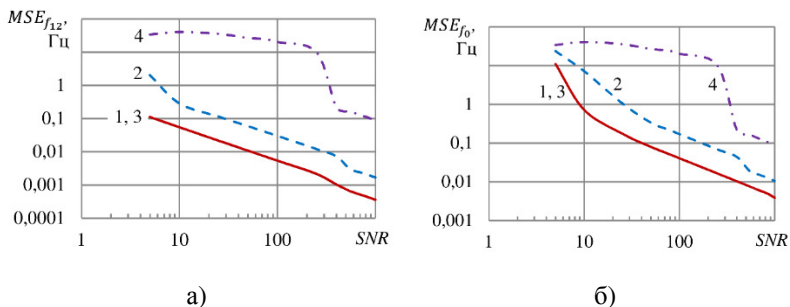


Рис. 2. Среднеквадратическая погрешность оценки частоты прямой/обратной (а) и нулевой последовательностей (б) в сигнале по новому способу и с использованием классического алгоритма адаптивного структурного анализа. На рисунке приняты следующие обозначения: погрешности нового и классического способов соответственно при $f_{12} = 43,44$ Гц и $f_0 = 53,44$ Гц – кривые 1 и 2 соответственно; кривые тех же погрешностей при $f_{12} = 43,44$ Гц и $f_0 = 46,44$ Гц – кривые 3 и 4.

Выводы

1. Эффективность устройств интеллектуального АПВ ЛЭП с ШР обеспечивается высокой точностью предсказания сигналов напряжения со стороны питающей системы и со стороны линии.

Такой высокой точностью предсказания обладают методы адаптивного структурного анализа.

2. Разрешающая способность классического алгоритма адаптивного структурного анализа ограничивается конкуренцией фильтров эффективного ядра структурной модели.

3. Новый метод полностью устраняет конкуренцию между фильтрами эффективного ядра и использует весь объем информации, заключенной в сигналах всех фаз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ivanov N.* An Optimal Strategy for Three-Phase Intelligent Auto-Reclosing of Power Lines with Shunt Reactors / N. Ivanov [et al.] // 2020 Ural Smart Energy Conference (USEC), Ekaterinburg, 2020, pp. 31-34. DOI: 10.1109/USEC50097.2020.9281271.

2. *Ivanov N.* A Damage Prevention of Circuit Breaker During Energizing of Low-loaded Line with Shunt Reactors / N. Ivanov [et al.] // 2020 Ural Smart Energy Conference (USEC), Ekaterinburg, 2020, pp. 72-75. DOI: 10.1109/USEC50097.2020.9281269.

3. *Ivanov N.G.* Fundamentals of Intelligent Automatic Reclosing of Long-Distance Transmission Lines with Shunt Reactors / Ivanov N.G. [et al.] // Russian Electrical Engineering, 2019, Vol. 90, No. 8, PP. 558–564.

4. *Антонов В.И.* Адаптивный структурный анализ электрических сигналов: теория и ее приложения в интеллектуальной электроэнергетике / В.И. Антонов – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2018. – 333 с.

5. *Антонов В.И.* Адаптивный структурный анализ электрических сигналов: теория для инженера / В.И. Антонов, В.А. Наумов, М.Н. Кудряшова, М.И. Александрова, Д.А. Степанова // Релейная защита и автоматизация. – 2019. – № 2 (35) – С. 18–27.

6. *Иванов Н.Г.* Анализ структуры напряжения компенсированной ЛЭП в паузе цикла автоматического повторного включения / Н.Г. Иванов, В.И. Антонов, В.А. Наумов, А.В. Солдатов // Материалы 11-й Всерос. Науч.-техн. конф. «Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике». Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та, 2018. С.249–253.

7. *Иванов Н.Г.* Анализ алгоритмов предсказания напряжения в паузе цикла интеллектуального АПВ / Н.Г. Иванов [и др.] // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: сборник докладов III Международной научно-технической конференции. - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. С. 151-159.

Авторы:

Иванов Николай Геннадьевич, сведения об авторе приведены на стр. 25.

Александрова Марина Ивановна, инженер 3 категории группы разработки интеллектуальных устройств департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», аспирант ЧГУ им. И.Н. Ульянова по профилю 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы». E-mail: alexandrova_mi@ekra.ru.

Воробьев Евгений Сергеевич, инженер 3 категории группы разработки интеллектуальных устройств департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», ассистент кафедры теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики ЧГУ им. И.Н. Ульянова. В 2019 г. окончил электроэнергетический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова. Получил степень бакалавра в 2017 г., защитил магистерскую диссертацию в 2019 г. по направлению «Автоматика энергосистем»: vorobev_es@ekra.ru.

Антонов Владислав Иванович, сведения об авторе приведены на стр. 33.

Наумов Владимир Александрович, сведения об авторе приведены на стр. 34.

УЛУЧШЕННЫЙ МЕТОД АКТИВНО-АДАПТИВНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ СЛАБЫХ СЛАГАЕМЫХ НА ФОНЕ ПРЕОБЛАДАЮЩЕЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ОЗЗ

Иванов М.О., Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия.

Кудряшова М.Н., ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия.

Солдатов А.В., Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия.

Иванов Н.Г., Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭНЕРГОСИСТЕМ, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА В СЕТЯХ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ, НАДЕЖНОСТЬ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ	5
Лямец Ю.Я., Никонов И.Ю. (ООО «Релематика») <i>Распознавание поврежденного ответвления при одностороннем наблюдении линии электропередачи</i>	5
Петров В.В. (ООО «НИЦ ЧЭАЗ») <i>Анализ функционирования дистанционной защиты в тяговой сети железной дороги</i>	10
Кочетов И. Д., Лямец Ю. Я., Макашкин Ф. А., Петряшин И.Е. (ООО «Релематика») <i>Применение локальных составляющих в алгоритмах противоаварийной автоматики для устранения кратковременных нарушений электроснабжения в питающих сетях</i>	13
Иванов Н.Г., Глазырин А.В., Кудряшова М.Н., Степанова Д.А. (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, ООО НПП «ЭКРА») <i>Методы обнаружения витковых замыканий в обмотке ротора синхронного генератора</i>	18
Александрова Т.В. (НПП «Динамика») <i>Проверка терминалов релейной защиты и реклоузеров с низковольтными входами</i>	25
Никитина А.Н., Петров В.С., Антонов В.И., Наумов В.А. (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, ООО НПП «ЭКРА») <i>Прецизионное определение электрического центра качания в электрической сети</i>	30
Кочетов И. Д., Лямец Ю. Я., Макашкин Ф. А. (ООО «Релематика») <i>Теоретические и прикладные аспекты выделения локальной составляющей наблюдаемого процесса</i>	34
Касторова Д.А. (ООО «НПП «Динамика») <i>Разработка специального программного обеспечения для диагностики электротехнического оборудования</i>	39

Митрюхин Е. Л. (ООО «НПП «Динамика») <i>Особенности синхронизации испытательных комплексов с помощью блока GPS синхронизации для проверки устройств релейной защиты</i>	42
Плеханов А.В., Александров Н.М. (ООО «НПП «Динамика») <i>Проверка трансформаторов тока с использованием современного проверочного оборудования серии РЕТОМ</i>	46
Воронов П.Л. (Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова) <i>Уточнение спрямленных характеристик генераторов с АРВ и расчетов токов КЗ для произвольного момента времени</i>	49
Семенов К.Г. (ООО НПП «Динамика») <i>Анализ информационного трафика на цифровой подстанции</i>	53
Убасева М.В., Петров В.С. (ООО НПП «ЭКРА») <i>Двустороннее определение места повреждения ЛЭП без учета модели короткого замыкания</i>	57
Кутумов Ю.Д., Кузьмина Н.В., Шадрикова Т.Ю., Шуин В.А. (Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина) <i>Исследование частотных характеристик воздушных ЛЭП напряжением 6–10 кВ</i>	61
Исаков Р.Г., Метелев И. С., Ференец А. А, Юдина К. П. (КНИТУ-КАИ) <i>Анализ влияния параметров сети с источником распределённой генерации на параметры срабатывания релейной защиты</i>	65
Христофоров В.А., Фёдоров Александр О., Петров В.С. (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, ООО НПП «ЭКРА») <i>Локализация повреждений на кабельно-воздушных линиях электропередачи двухсторонним волновым методом</i>	75
Егоров В.А, Фёдоров Алексей О., Петров В.С., Антонов В.И., Наумов В.А. (ООО НПП «ЭКРА», Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова) <i>Локализация фронта волны в сигнале</i>	78
ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ	83
Фёдоров Алексей О., Петров В.С., Алексеев В. С. (ООО НПП «ЭКРА») <i>Модальные преобразования в устройстве волнового определения места повреждения</i>	83

Алексеев В. С., Фёдоров Алексей О., Петров В.С. (ООО НПП «ЭКРА») <i>Сигналы волнового дискриминатора поврежденных фаз</i>	88
Рослова К.С., Наровлянский В.Г. (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», ОАО «ВНИИР») <i>Адаптивный фильтр ортогональных составляющих для релейной защиты в условиях изменяющейся частоты электроэнергетической системы</i>	91
Лямец Ю. Я., Никонов И.Ю., Петряшин И.Е. (ООО «Релематика») <i>Восстановление тока, искаженного вследствие насыщения трансформатора тока, по малому числу отсчетов</i>	95
Иванов Н.Г., Александрова М.И., Воробьев Е.С., Антонов В.И., Наумов В.А. (ООО НПП «ЭКРА», Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова) <i>Цифровая обработка сигналов в устройствах интеллектуального АПВ ЛЭП с шунтирующими реакторами</i>	99
Иванов М.О., Кудряшова М.Н., Солдатов А.В., Иванов Н.Г., Антонов В.И., Наумов В.А. (ООО НПП «ЭКРА», Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова) <i>Улучшенный метод активно-адаптивного распознавания слабых слагаемых на фоне преобладающей составляющей тока ОЗЗ</i>	107
Воробьев Е.С., Антонов В.И., Иванов Н.Г., Наумов В.А., Солдатов А.В. (ООО НПП «ЭКРА») <i>Многоканальный адаптивный структурный анализ</i>	114
ТЕХНОЛОГИИ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ	121
Родионов А.В., Бутин К.П., Данилов М.А., Попов А.И. (ООО «Инженерный центр «Энергосервис», Северный (Арктический) федеральный университет) <i>Поиск источников низкочастотных колебаний на основе технологии синхронизированных векторных измерений</i>	121
Пискунов С.А., Хромцов Е.И., Мокеев А.В. (ООО «Инженерный центр «Энергосервис», Северный (Арктический) федеральный университет) <i>Применение технологии СВЧ для совершенствования систем управления, защиты и мониторинга</i>	126

Горячевский И.А., Петров К.В., Андреев П.И., Ульянов Д.Н. (ООО «Инженерный центр «Энергосервис») <i>Применение ПТК «Цифровой РЭС» в распределительных кабельных сетях 6-10 кВ</i>	130
МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ	134
Степанова Д.А., Антонов В.И., Наумов В.А. (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, ООО НПП «ЭКРА») <i>Основы интеллектуального дискриминатора режимов земляных коротких замыканий в электрической системе</i>	134
Дементий Ю.А., Петряшин А.Е., Петряшин И.Е. (ООО «Релематика») <i>Анализ применимости классических алгоритмов МЛ в практических задачах энергетики</i>	142
Дементий Ю.А., Маслов А.Н., Николаев К.П. (ООО «Релематика») <i>Нейросетевая классификация режимов работы объекта</i>	147
Дементий Ю. А., Шорников Е.В. (ООО «Релематика») <i>Машинное обучение для интервальной оценки параметров объекта</i>	153
Дементий Ю.А. (ООО «Релематика») <i>Активное обучение классификатора режимов работы объекта с использованием имитационной модели</i>	157
Дементий Ю. А., Петряшин А. Е., Петряшин И. Е. (ООО «Релематика») <i>Анализ эффективности активного обучения в задаче разграничения режимов работы энергообъекта</i>	162
Дементий Ю.А., Николаев К.П. (ООО «Релематика») <i>Детерминированный метод построения образа имитационной модели объекта</i>	168
Кондрашов М.А., Максимов Р.С., Чжоу Хаочэнь, Лай Денцзюнь, Колобродов Е.Н. (НИУ «МЭИ») <i>Фиксация наличия частичных разрядов по синусоиде напряжений с применением методов машинного обучения</i>	172
КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ	186

Карпенко В.И., Карантаев В.Г. (НИУ МЭИ, Центр НТИ МЭИ) <i>Разработка экспертной системы для оценки влияния деструктивных воздействий компьютерных атак на подстанции с высшим классом напряжения 500 кВ с децентрализованной архитектурой вторичных подсистем</i>	186
Кокшев П.А. (ООО «НИЦ ЧЭАЗ») <i>Применение нейросетевых алгоритмов обнаружения вторжений для сетевого анализатора данных цифровой подстанции</i>	199
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ	204
Шамис М.А., Иванов Ф.А., Васильев С.П., Zakonjsek J. (Законьшек Я.) (ЗАО "ЭнЛАБ") <i>Новые возможности по детальному моделированию переходных процессов в больших энергосистемах</i>	204
Иванова Т.В., Никандров М.В., Белебенцев Д.Э. (ООО «Интеллектуальные Сети», Чебоксарский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет») <i>Комплекс обучения персонала электроэнергетического объекта в виртуальной реальности</i>	208
Лебедев В.Д., Петров А.Е., Иванов Ф.А., Jennifer(Xinru) Liu, Gregory Jackson (ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. Ленина», ЗАО «ЭнЛАБ», PONOVO Power Co. LTD, RTDS Technologies Inc) <i>Цифровой полигон ИГЭУ</i>	213
Смирнов С.Ю., Наумов И.А., Седова М.С., Шивиров А.В. (ОАО «ВНИИР», Чувашский государственный университет) <i>Моделирование трансформаторов тока для релейной защиты с учётом современных требований</i>	217

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ**

Материалы научно-технической конференции молодых
специалистов форума «РЕЛАВЭКСПО-2021»

Публикуется в авторской редакции

Отв. за выпуск М.И. Александрова

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

Подписано в печать 08.04.2021. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,13.
Тираж 300 экз. Заказ № 382.

Отпечатано в соответствии с представленным оригиналом-макетом в
типографии Чувашского университета
428015 Чебоксары, Московский просп., 15