



ЖУРНАЛ НЕКОММЕРЧЕСКОГО ПАРТНЕРСТВА «СОДЕЙСТВИЕ РАЗВИТИЮ
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, АВТОМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»



РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

Итоги «РЕЛАВЭКСПО-2021» | Об алгоритме прогнозирования тока КЗ при насыщении ТТ |
Обучение многомерной РЗ | Идентификация параметров объекта управления | Автоматика
микроэнергосистемы с мини-ГЭС | Особенности автоматической синхронизации MicroGrid
| Опыт использования сервиса автоматизации создания цифровых расчетных моделей |
Проектирование ЦПС с учетом стандарта МЭК 61850 | Проверка ТТ с помощью комплексов РЕТОМ

№ 02 (43) | Июнь | 2021



РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ» –

научно-практическое издание.

(43), 2021 год, июнь.

Периодичность: 4 раза в год.

Тираж: 1500 экз., заказ №1184.

Выход: 23.06.2021 г.

Исходный индекс: 43141 (Объединенный каталог «ПРЕССА РОССИИ»).

Свободная.

16+

РЕДАКТОРЫ ЖУРНАЛА:

Товарищество «Содействие развитию релейной защиты, автоматики и телемеханики в электроэнергетике» (НП «СРЗАУ»), Общество с ограниченной ответственностью «Амни-издательский центр «Содействие развитию релейной защиты, автоматики и телемеханики в электроэнергетике» (ООО «РИЦ «СРЗАУ»), Белотелов Алексей Константинович.

РЕДАКТОР:

Белотелов Алексей Константинович
«РИЦ «СРЗАУ».

РЕДАКТОРЫ ИЗДАТЕЛЬСТВА:

«ИнтЭК», Белотелов Алексей Константинович.

Адрес редакции и издателя:

Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, пр-кт И. Яковлева, д. 3, пом. 508 Б,
w.srzau-ric.ru, vk.com/rza_journal

Юридический адрес: ООО «Типография «Перфектум»

429000, г. Чебоксары, ул. Карла Маркса, 52. ☎ +7 (8352) 32-05-01, 32-05-02

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор: Белотелов Алексей Константинович,

президент НП «СРЗАУ»,

т. (8352) 714-50-93, ✉ belotelov@np-srzau.ru

Заместитель главного редактора: Абрамов Дмитрий Вячеславович,

т. (8352) 226-394, ✉ adv@srzau-ric.ru

Дизайн и верстка: Мирошник Алексей Дмитриевич, ✉ design@srzau-ric.ru

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Белотелов Владислав Иванович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова»;

Белотелов Дмитрий Борисович, к.т.н., АО «РАДИУС Автоматика»;

Белотелов Ян Леонардович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»;

Белотелов Александр Витальевич, д.т.н., профессор, ООО «НПП Бреслер»;

Белотелов Роберт Александрович, д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ТПУ»;

Белотелов Валерий Кузьмич, д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого»;

Белотелов Юрий Данилович, д.т.н., старший научный сотрудник,

Интер РАО – Инжиниринг»;

Белотелов Николай Анатольевич, к.т.н., ООО НПП «ЭКРА», член РНК СИГРЭ»;

Белотелов Евгений Георгиевич;

Белотелов Евгений Константинович, АО «Ивэлектронладка»;

Белотелов Павел Владимирович, д.т.н., ФГБУН «ИНЭИ РАН» – зам. главного редактора по науке;

Белотелов Владимир Николаевич, к.т.н., доцент, ООО «НПП Бреслер»;

Белотелов Александр Леонидович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», НГТУ»;

Белотелов Владимир Федорович, д.т.н., АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;

Белотелов Дмитрий Романович, д.т.н., АО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»;

Белотелов Алексей Владимирович, д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «САФУ им. М.В. Ломоносова»;

Белотелов Владимир Иванович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова»;

Белотелов Владимир Александрович, к.т.н., ООО НПП «ЭКРА», член РНК СИГРЭ»;

Белотелов Максим Георгиевич, д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого»;

Белотелов Виктор Иванович, ООО «ТранснефтьЭлектросетьСервис» –

заместитель главного редактора;

Белотелов Александр Георгиевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «НГТУ»;

Белотелов Александр Юрьевич, д.т.н., профессор, АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;

Белотелов Владимир Александрович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина».

Издатель не несет ответственности за достоверность рекламных материалов.

Используемая продукция подлежит обязательной сертификации и лицензированию.

Печать, цитирование и копирование размещенных в журнале

материалов допускаются только со ссылкой на издание.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-44249 от 15.03.2011 г., выданное Федеральной службой

по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

Уважаемые читатели!



Представляю Вам
очередной 43-й
выпуск журнала
«РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА
И АВТОМАТИЗАЦИЯ».

Вот уже второй год коллектив редакции работает в сложных условиях ограничений, связанных с пандемией коронавирусной инфекции, и, соответственно, все наши усилия направлены на подтверждение и сохранение высокого статуса научного издания ВАК. По-прежнему издание является научно-практическим, поэтому традиционно сохраняет две основные рубрики «НАУКА» и «ПРАКТИКА».

В новом номере значительное место занимают научные публикации, относящиеся к актуальной и обширной теме современности - цифровой трансформации в энергетике. По мнению редакции, все эти материалы представляют большой интерес для широкого круга специалистов и научной общественности электротехнической отрасли.

Обращаю Ваше внимание на рубрику «СОБЫТИЯ», где отражены итоги VI Международной научно-практической конференции «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем России» и выставки «РЕЛАВЭКСПО-2021», проходившей в очном формате в городе Чебоксары. На этот раз главной темой Чебоксарского Форума также явилась цифровая трансформация в энергетике. В связи с этим обращаюсь к участникам мероприятия с предложением о подготовке статей по материалам докладов деловой программы, которые мы можем опубликовать в последующих номерах журнала. Также ждем публикаций в связи со 120-летием РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ.

Ежедневная работа коллектива редакции при подготовке к выпуску очередных номеров нацелена на сохранение интереса к журналу широкого круга специалистов и научной общественности электротехнической отрасли. В связи с этим обращаюсь к руководству профильных энергетических компаний с просьбой о финансовой поддержке выпуска журнала путем размещения рекламных модулей и статей.

Подписку на журнал в традиционной бумажной форме и в электронном виде можно оформить через редакцию по запросу на adv@srzau-ric.ru.

С уважением, Алексей Белотелов

Автор:

к.т.н. Дементий Ю.А.,
ООО «Релематика»,
г. Чебоксары, Россия.

Ph.D. Dementiy Y.A.,
Relematika LLC,
Cheboksary, Russia.

Abstract: the approach for training of relay protection based on construction of multidimensional operation and blocking characteristics for solving a problem of discrimination of operation modes of an object is presented in the article. The optimization problem of training is formulated and its solution is proposed.

ОБУЧЕНИЕ МНОГОМЕРНЫХ ОРГАНОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

TRAINING OF MULTIDIMENSIONAL RELAY PROTECTION

Аннотация: в статье показан подход к обучению органов релейной защиты, основанный на построении многомерных областей срабатывания и блокировки для решения задачи разграничения режимов работы объекта. Поставлена оптимизационная задача обучения, предложено ее решение. Обучение предлагается проводить на основе имитационной модели объекта и допустимых диапазонов его параметров путем поиска режимов работы объекта, которые приводят к отказу обучаемого органа, с последующим увеличением области, лежащей в его основе. В качестве примера обучен орган блокировки многомерной защиты линии и проанализирована его эффективность. Предлагаемый метод позволяет создавать селективные защиты объектов с максимально возможной распознающей способностью для доступной информационной базы. Единственным требованием, предъявляемым к защищаемому объекту, является возможность составления имитационной модели и определения допустимых диапазонов его параметров. Обученные многомерные органы могут быть реализованы на любой современной цифровой платформе РЗА.

Ключевые слова: многомерный измерительный орган, предел распознаваемости, чувствительность, имитационная модель, обучаемая защита, машинное обучение, защита линии

It is suggested to perform training based on simulation model of an object and allowable ranges of its parameters by searching for operation modes of an object, which lead to failure of the trained relay, with subsequent increasing of the characteristic's area in its basis. As an example, the blocking characteristic of multidimensional line protection is trained and its efficiency is analyzed. The proposed method makes it possible to create selective relay protection with the highest possible recognition ability for the available information base. The only requirement to the object to be protected is the possibility of creating a simulation model and determining the allowable ranges of its parameters. The trained multidimensional relays can be implemented

Одна из основных задач при построении алгоритма релейной защиты (РЗ) - наиболее полное использование имеющейся информации (информационной базы) о режиме работы объекта для принятия решения о срабатывании или блокировке [1]. Имеющиеся на момент написания данной статьи классические алгоритмы не используют доступную информационную базу в полной мере, что является причиной уменьшения распознающей способности защиты, а иногда и потери селективности [1, 2]. Несмотря на то, что существуют различные адаптивные модификации классических алгоритмов, их распознающая способность не всегда достигает предела, соответствующего используемой информационной базе [1]. Кроме того, методы построения подобных алгоритмов не универсальны и подходят только для одного вида защит. Это является следствием того, что классические принципы построения алгоритмов РЗ не универсальны, зависят от доступной информационной базы и представляют собой лишь частные решения одной общей задачи — распознавания контролируемых режимов [1]. Постановка задачи и, частично, метод ее решения опираются на положения информационной теории РЗ [2].

В данной работе предлагается подход к обучению РЗ, основанный на постановке и решении оптимизационной задачи построения многомерных областей срабатывания и блокировки.

Пусть имеется имитационная модель наблюдаемого объекта (ИМО) $F(\mathbf{x})$, которая преобразует вектор параметров объекта в вектор значений, доступных для наблюдения [3]:

$$F(\mathbf{x}): G \rightarrow S,$$

где G – множество всех рассматриваемых векторов параметров имитационной модели в объектном пространстве;

S – множество всех возможных векторов в наблюдаемом пространстве;

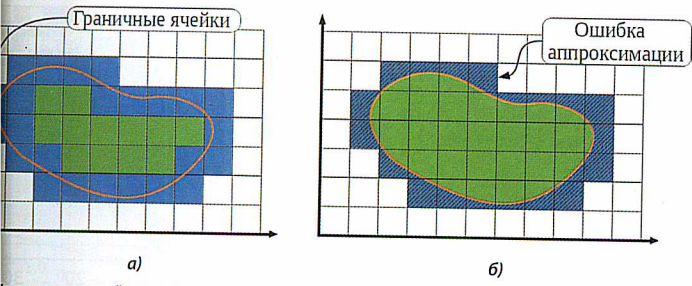
\mathbf{x} – вектор параметров ИМО.

Множество G всех рассматриваемых наборов параметров имитационной модели определено диапазонами их возможных значений. Оно содержит в себе все возможные комбинации параметров объекта в каком-либо выбранном режиме [5]:

$$G = \{\mathbf{x} | \mathbf{x}_{\min} < \mathbf{x} < \mathbf{x}_{\max}\}, \quad (1)$$

где: $\mathbf{x}_{\min} = [x_{1\min}, x_{2\min}, \dots, x_{k\min}]^T$ – нижние границы диапазонов объектных параметров;

Рис
гр
тр
щ
мн
ко
-м
ус
об.
но
явл
ло
зн
пр
ств
др
где
апп
S*
гол
ств
цы
сво
нук
апп
«в г
уго.
нее
[4, €
реж
дае
пол
ты м
яче
Рав
лич



Граничные ячейки и область ошибки аппроксимации

$x_{\max} = [x_{1\max}, x_{2\max}, \dots, x_{k\max}]^T$ – верхние границы диапазонов объектных параметров

– количество параметров, определяющих режим работы объекта.

Для практических целей построения двумерной РЗ необходимо получить табулирование области S , что для любого n -го вектора v возможно проверить принадлежность $v \in S$, то есть невозможно получить описание измерительного органа. Результатом работы метода является алгоритм $A(v)$, проверяющий условие $v \in S$ и возвращающий логическое значение (True или False).

Предлагаемый метод подразумевает аппроксимацию множества S двумя множествами, состоящими из ячеек, граничащих друг с другом:

$$S^* = S_{\text{interior}} \cup S_{\text{boundary}} \quad (2)$$

S_{interior} – внутренняя часть множества S^* , аппроксимирующего S ;

S_{boundary} – граничная часть множества

Множество S_{interior} состоит из прямоугольных ячеек. Свойством данного множества является то, что оно не касается границы аппроксимируемого множества S . Это позволяет сохранить прямоугольную форму ячеек без влияния на ошибку аппроксимации, так как ячейки находятся «внутри» S .

Дискретизация пространства на прямоугольные ячейки уже использовалась в работах, связанных с многомерной РЗ. Для описания места расположения объектов в дискретизированном пространстве целесообразно использовать бинарную матрицу M . Элементы матрицы соответствуют прямоугольным элементам, на которые разбито пространство. Значение элемента матрицы 1 означает наличие объекта в области пространства, занимаемо-

го ячейкой, возможных режимов работы объекта, равенство 0 означает отсутствие таких режимов. На рис. 1 показано разбиение двумерного пространства, на рис. 2 показано разбиение трехмерного пространства, при этом метод не ограничивает-

ся тремя измерениями и применим к любому их числу. Белым и синим цветами (рис. 2) показаны незаполненные и заполненные ячейки соответственно, также показан двумерный срез аппроксимируемой области в плоскости первого и второго измерений (оранжевая линия).

Однако такое разбиение пространства не является достаточным для точного описания области, так как на границе (внутри граничных ячеек) будет происходить потеря информации о форме области (рис. 1б). Для решения данной проблемы вводится дополнительный вид ячеек – граничные, которые составляют собой область S_{boundary} .

Множество S_{boundary} состоит из ячеек, включающих в себя границу множества S . Данные ячейки представляют собой многомерные прямоугольники (рис. 1б), усеченные гиперповерхностью L^* . Истинная граница L во время построения области аппроксимируется границей L^* , а объединение внутренних и граничных ячеек дает кусочно-непрерывную аппроксимацию области S . Тип ячейки определяется следующим образом: если текущая ячейка заполнена и при этом если хотя бы один из ее $3^n - 1$ соседей не заполнен, то ячейка является граничной, иначе – внутренней.

Аппроксимирующая гиперповерхность L^* задается множеством элементарных гиперповерхностей, определенных уравне-

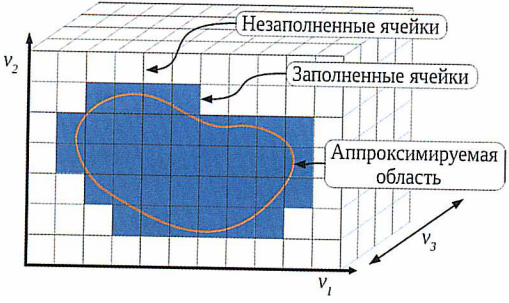


Рис. 2. Разбиение трехмерного пространства на ячейки

on any modern digital RPA platform.

Keywords:
multidimensional discriminating element, limit of recognition, sensitivity, simulation model, trainable protection, machine learning, distance protection



Дементий Юрий Анатольевич
Дата рождения: 24.11.1992.
В 2018 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Методы и средства компенсации полного тока однофазного замыкания на землю в распределительных сетях» в ЧГУ им. И.Н. Ульянова.
Руководитель группы ООО «Релематика».



нием $l_{ind}(\mathbf{v}) = 0$ внутри соответствующей ей граничной ячейки с вектором индексов $\mathbf{ind} = [i_0, \dots, i_n]^T$. Точность аппроксимации зависит только от вида уравнения $l_{ind}(\mathbf{v}) = 0$ и может быть сколь угодно высокой. Таким образом, вектор \mathbf{v} , лежащий внутри граничной ячейки с индексами \mathbf{ind} , принадлежит области S , если выполняется условие $l_{ind}(\mathbf{v}) > 0$, т.е. если он расположен с соответствующей стороны от L^* .

Проверка нахождения вектора \mathbf{v} во внутренней области $S_{interior}$ эквивалентна проверке его нахождения в одной из внутренних ячеек. Попадание вектора \mathbf{v} в граничную область $S_{boundary}$ соответствует его попаданию в граничную ячейку, а также нахождению с определенной стороны от разделяющей поверхности l_{ind} . Для проверки попадания вектора \mathbf{v} в объединенную область S^* требуется, чтобы он находился в одной из этих областей.

В данной работе оптимизационная задача описывается выражением (3). В качестве входных данных для построения используются имитационная модель F и область допустимых параметров объекта G . Построение S^* осуществляется путем итерационного поиска «новых» режимов работы объекта, которые на отдельных итерациях оптимизации ошибочно лежат вне S^* .

$$S^* = \operatorname{argmax}_{S^*} V(S^*), \quad (3)$$

где $V(S^*)$ – объем, занимаемый областью S^* .

В данной работе предлагается использовать стохастический подход, основанный на смещении отдельно взятой точки на случайное расстояние в случайную сторону в пространстве параметров с последующей проверкой нового ее положения в наблюдаемом пространстве. Скорость сходимости метода определяются критерием выбора точек для смещения, а также правильным выбором семейства и параметров случайного распределения смещений.

Выражение (4) является критерием успешности поиска (и заполнения пустых ячеек в матрице \mathbf{M}). Его проверка возможна после генерации новых векторов в объектном пространстве, необходимых для проверки возможности расширения области S^* :

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_{new} &= F(\mathbf{x} + \mathbf{x}_{shift}), \\ \mathbf{x}_{shift} &\sim f(\mathbf{x}), \\ A(\mathbf{v}_{new}) &= \text{False}, \end{aligned} \quad (4)$$

где \mathbf{x}_{shift} – случайное смещение вектора;

\mathbf{x} – вектор, вокруг отображения которого проверяется возможность расширения области;

$f(\mathbf{x})$ – плотность вероятности случайного смещения.

В качестве плотности вероятности выбрано многомерное нормальное распределение (5). Оно определяется ковариационной матрицей и математическим ожиданием [12]. Вследствие того, что отклонение \mathbf{x}_{shift}

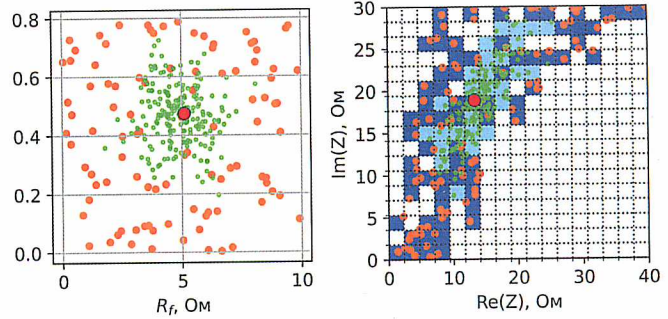


Рис. 3. Исходные и смещенные точки в объектном и наблюдаемом пространствах

предполагается симметричным относительно выбранной точки \mathbf{x} , то $\boldsymbol{\mu} = E[\mathbf{x}_{shift}] = [0, \dots, 0]^T$.

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{|\Sigma|^{1/2} (2\pi)^{k/2}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})^T \Sigma^{-1} (\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})}, \quad (5)$$

где Σ – ковариационная матрица случайного распределения.

Из (1) следует, что необходимо отбрасывать сгенерированные векторы, лежащие за пределами области G , то есть векторы, для которых выполняется условие $\mathbf{x} + \mathbf{x}_{shift} \notin G$, что приводит (5) к усеченному нормальному распределению [13].

Среди факторов, определяющих производительность алгоритма, стоит отметить критерий выбора ячеек, из которых производится смещение точек. Одним из эффективных вариантов является введение специальной матрицы счетчиков \mathbf{M}_c , размер которой равен размеру бинарной матрицы \mathbf{M} . Значения $\mathbf{M}_c[i_1, \dots, i_n]$ показывают, сколько безуспешных итераций поиска подряд было произведено из ячейки $\mathbf{M}[i_1, \dots, i_n]$. Для смещения выбираются точки из ячеек с минимальным значением счетчика. Таким образом, становится возможен выбор точек для смещения из ячеек, содержащих наиболее информативные векторы в наблюдаемом пространстве [14]. Другими важными факторами, влияющими на сходимость, являются: плотность распределения $f(\mathbf{x})$, в частности, ее параметры, определяющие дисперсию, а значит, и ширину поиска; размер ячеек; вид аппроксимирующих кривых $l_{ind}(\mathbf{v})$, усекающих граничные ячейки.

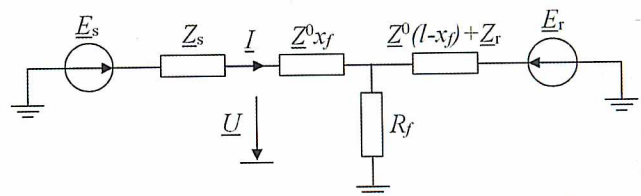


Рис. 4. Схема замещения линии электропередачи в режиме короткого замыкания

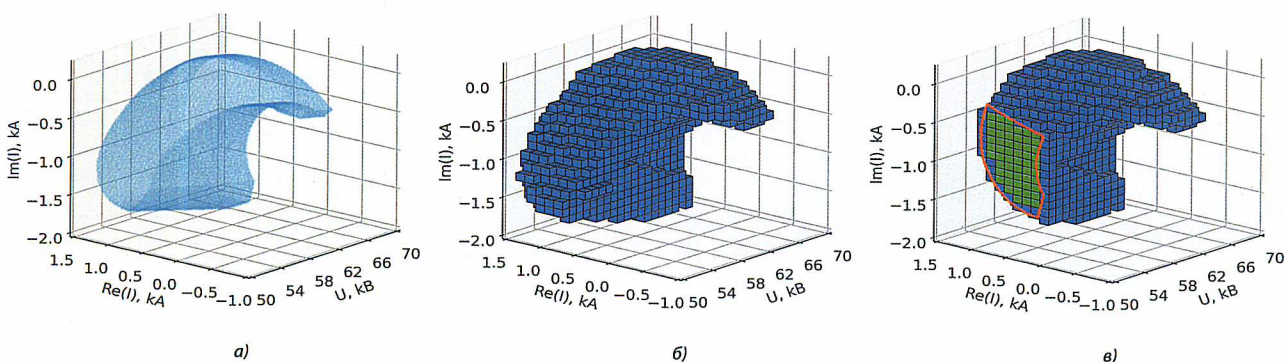


Рис. 5. Результат работы метода: характеристика блокировки защиты линии (а) и визуализация трехмерных бинарных матриц (б, в)

На примере двумерных объектного и наблюдаемого пространств (рис. 3) и группы точек показано, как смещение одной исходной точки помогает определять ошибочно незаполненные участки пространства при недостатке информации. Красная точка является смещаемым вектором x , зеленые точки показывают результат смещения. Голубым цветом выделены ячейки, заполненные в результате такого поиска.

Применение предлагаемого метода рассмотрено на примере решения задачи обучения органа блокировки защиты линии электропередачи. Имитационная модель составлена на основе схемы замещения, показанной на рис. 4.

Короткие замыкания, происходящие в защищаемой зоне, являются контролируемыми режимами, альтернативными режимами являются замыкания вне зоны. Диапазоны возможных параметров модели, определяющие области в объектном пространстве G , показаны в табл. 1.

Таблица 1. Диапазоны параметров модели

Величина	Диапазон для контролируемых режимов (альфа-режимов)	Диапазон для альтернативных режимов (бета-режимов)
Rf, Ом	0 ... 100	0 ... 1e6
Xf, о.е.	0 ... 0.8	0.8 ... 1
δ , градусы	-30 ... 30	-30 ... 30
Zs , Ом	0.1 ... 10	0.1 ... 10
Zr , Ом	0.1 ... 10	0.1 ... 10
angle(Zs), градусы	80 ... 89	80 ... 89
angle(Zr), градусы	80 ... 89	80 ... 89
Ks, о.е.	0.95 ... 1.05	0.95 ... 1.05
Kr, о.е.	0.95 ... 1.05	0.95 ... 1.05

Бинарная матрица M состоит из 8 000 элементов, что соответствует дискретизации каждой оси наблюдаемого пространства на 20 ячеек. В качестве функций, аппроксимирующих область в граничных ячейках выбраны гиперповерхности, определенные полиномом второго порядка.

Результат работы алгоритма показан на рис. 5. На рис. 5а показана полученная граница области S^* , аппроксимирующая истинную границу, являющаяся ха-

рактеристикой блокировки обученной защиты линии. Эта граница образована множеством гиперповерхностей $L_{ind_1}, L_{ind_2}, \dots, L_{ind_n}$, соответствующих граничным ячейкам с векторами индексов $ind_1, ind_2, \dots, ind_n$ соответственно. Рис. 5б является визуализацией трехмерной бинарной матрицы M . Рис. 5в показывает деление ячеек в матрице M на граничные и внутренние, а также срез полученной области.

Эффективность использования полученной области блокировки для принятия решения о срабатывании защиты целесообразно оценить путем поиска режимов, которые не попадают в построенную область (не будут ею заблокированы и, следовательно, могут быть отключены). При этом найденные режимы не должны быть отключены при использовании реле сопротивления. В данном случае реле сопротивления выбрано для сравнения вследствие того, что оно является общепринятым и широко используемым органом РЗ и использует ту же информационную базу, что и рассматриваемое трехмерное реле.

На рис. 6 показаны граничные поверхности L_α, L_β областей альфа- и бета-режимов соответственно в трехмерном наблюдаемом пространстве. Поверхность L_β является характеристикой блокировки защиты ли-

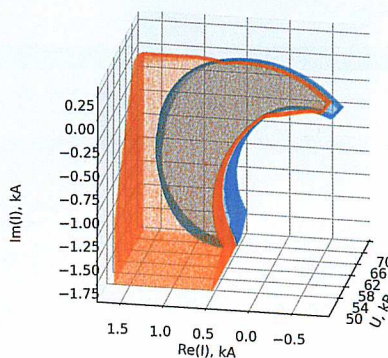


Рис. 6. Области альфа- и бета-режимов (оранжевая и синяя соответственно), построенные в трехмерном наблюдаемом пространстве



нии. Вследствие того, что область пространства, занимаемая альфа-режимами значительно больше области, занимаемой бета-режимами, на графике показана только та часть пространства, в которой происходит их пересечение.

Оценка эффективности проводилась путем моделирования режимов работы линии с последующей проверкой их попадания в область трехмерного реле и в характеристику срабатывания реле сопротивления. В данном примере принимается, что трехмерное реле распознано замыкание, если вектор наблюдаемых значений не попадает в характеристику блокировки. Анализ работы обоих реле показал две группы режимов, доступных для распознавания трехмерному реле и недоступных для реле сопротивления. Первая группа демонстрирует незначительное повышение (в сравнении с реле сопротивления) способности трехмерного реле распознавать замыкания через низкое сопротивление. В трехмерном пространстве эти режимы лежат вблизи выпуклой границы области бета-режимов. Как видно по рис. 6, эти режимы соответствуют большим наблюдаемым токам замыкания. Вторая область соответствует замыканиям через высокое сопротивление. В трехмерном пространстве эти режимы лежат вблизи вогнутой границы бета-режимов и соответствуют малым наблюдаемым токам. Режимы, которые может распознать реле сопротивления и не может распознать трехмерное реле, отсутствуют.

Выводы

1. Предлагаемый метод позволяет строить характеристики срабатывания/блокировки органов релейной защиты, обладающих максимально возможной распознающей способностью, ограниченной только доступной информационной базой.
2. Предлагаемый метод обучения измерительных органов может являться основой универсального инструмента построения РЗ любого объекта с любым набором параметров, для которого может быть составлена имитационная модель.

3. Предлагаемый метод описания областей срабатывания/блокировки позволяет реализовать защиты на любой современной цифровой платформе РЗА вследствие использования эффективного инструмента хранения области – бинарной матрицы.

Литература:

1. Мартынов М.В. Исследование и разработка обучаемых модулей микропроцессорных защит линий электропередачи: диссертация ... кандидата технических наук: 05.14.02 / Мартынов М.В.; Чебоксары, Чуваш. гос. ун-т им. И.Н. Ульянова, 2014.
2. Лямец Ю.Я., Нудельман Г.С., Подшивалин А.Н., Закончек Я.В. Об информационной теории релейной защиты. – Известия Академии электротехнических наук РФ, 2009, с. 32-44.
3. Лямец Ю.Я. Многомерная релейная защита. Теоретические предпосылки / Лямец Ю.Я., Нудельман Г.С., Зиновьев Д.В., Кержаев Д.В., Романов Ю.В. // Электричество. - 2009. - № 10. - С. 17-25.
4. Ефимов Е.Б. Оптимальная фазовая селекция коротких замыканий в линиях электропередачи. - диссертация ... кандидата технических наук, Чебоксары, Чуваш. гос. ун-т им. И.Н. Ульянова, 2002.
5. Лямец Ю.Я., Кержаев Д.В., Нудельман Г.С., Романов Ю.В. Граничные режимы в методике обучения релейной защиты. Ч. 1. Граничные условия и обучающие процедуры. // Известия ВУЗов. Электромеханика. - 2009. - № 4. - С. 24-30.
6. Лямец Ю.Я., Ефимов Е.Б., Нудельман Г.С. Способ релейной защиты энергообъекта. - Патент РФ №2247456, Б.И. №6, 2005
7. Куликов А.Л. Применение сеточных функций для задания уставочных областей цифровой релейной защиты/ А.Л. Куликов, М.В. Шарыгин, П.В. Илюшин. // Электрические станции. - 2019. - № 5 (1054). - С. 50-57
8. Cherkassky, Vladimir S. Learning from data: concepts, theory, and methods / by Vladimir Cherkassky, Filip Mulier. – 2nd edition – IEEE Press, 2007, 557 p.
9. Mohri M. Foundations of Machine Learning / by Mohri Mehryar, Afshin Rostamizadeh, Ameet Talwalkar. - 2nd edition - The MIT Press, 2018, 505 p.
10. Russell S, Artificial Intelligence: A Modern Approach / by Stuart Russell, Peter Norvig. - 4th edition - Pearson Education, 2020, 1136 p.
11. Воронов П.И. Информационные аспекты защиты и локации поврежденных электрической сети. - диссертация ... кандидата технических наук, Чебоксары, Чуваш. гос. ун-т им. И.Н. Ульянова, 2015.
12. М. де Гроот. Оптимальные статистические решения: пер. с англ. А.Л. Рухина / под ред. Ю.В. Линника и А.М.Кагана. – М.: Мир, 1974. – 492 с.
13. Robert, C.P. Simulation of truncated normal variables. / Statistics and Computing. 1995. 5(2). p.121–125
14. Дементий Ю.А., Активное обучение классификатора режимов работы объекта с использованием имитационной модели // 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. – С. 157-162.

РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ



150 ₺



150 ₺



500 ₺



1000 ₺

428003, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, пр-кт И. Яковлева, д.3 Тел.: +7 (8352) 226-394 ADV@SRZAU-RIC.RU

