

На правах рукописи



МАРТЫНОВ Михаил Владимирович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОБУЧАЕМЫХ МОДУЛЕЙ
МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Специальность 05.14.02

Электрические станции и электроэнергетические системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Чебоксары 2014

Работа выполнена на кафедре теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова» (г. Чебоксары).

Научный руководитель: **Лямец Юрий Яковлевич**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

Официальные оппоненты: **Любарский Дмитрий Романович**
доктор технических наук, заместитель генерального директора по научной работе Открытого акционерного общества (ОАО) «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (г. Москва)

Лачугин Владимир Федорович
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией информационно-измерительных и управляющих систем в электроэнергетике Открытого акционерного общества «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского» (ОАО «ЭНИИ», г. Москва)

Ведущая организация: **Открытое акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт релестроения с опытным производством» (ОАО «ВНИИР», г. Чебоксары)**

Защита состоится 25 декабря 2014 г. в 13⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д212.301.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова» в зале заседания Ученого совета (г. Чебоксары, ул. Университетская, д. 38, библиотечный корпус (корпус № 3), третий этаж, к. 301).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять на имя учёного секретаря диссертационного совета по адресу: 428015, г. Чебоксары, Московский проспект, д. 15.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова» (428034, г. Чебоксары, ул. Университетская, д. 38, библиотечный корпус, (8352) 45-02-07, library@chuvsu.ru) и на сайте www.chuvsu.ru.

Автореферат разослан 27 октября 2014 г.

Учёный секретарь диссертационного совета Д 212.301.02, к.т.н.



Серебрянников
Александр Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы работы. В настоящее время наблюдается высокая интенсивность исследований, направленных на совершенствование алгоритмов релейной защиты и автоматики (РЗА). Следует отметить американскую компанию SEL, шведскую ABB, китайскую NARI. Поиск эффективных алгоритмов РЗА ведется в чебоксарском релестроении. Этим вопросам также посвящены труды иных отечественных школ релейной защиты.

Ключевым направлением, характеризующим современный этап развития микропроцессорной РЗА, стала интеллектуализация систем РЗА, обусловленная развитием единой электроэнергетической системы, созданием активно-адаптивных сетей, внедрением элементов гибкой передачи электроэнергии, увеличением доли распределённой генерации. В условиях постоянного изменения режима работы защищаемого объекта добиться уверенного распознавания аварийной ситуации возможно при наличии у РЗА способности к обучению и адаптации.

Обучаемый адаптивный модуль РЗА способен изменять текущие параметры срабатывания в зависимости от наблюдаемого режима работы защищаемого объекта. Такой модуль должен обладать способностью объединять всю имеющуюся информацию как о текущем, так и о предшествующем режиме работы объекта, а также априорную информацию о его параметрах и структуре. Внедряемый ныне стандарт МЭК61850 в рамках концепции цифровой подстанции подразумевает доступность одному устройству РЗА обширной информации о режимах работы всех элементов энергообъекта.

В диссертации разрабатываются методы объединения информации для решения задач РЗА. Информация о состоянии защищаемого объекта, представленная в объектном пространстве соответствующей размерности, отображается на плоскостях замеров, которыми оперируют модули РЗА. Разработанные методы обучения позволяют объединить всю имеющуюся информацию в одном алгоритме для достижения максимально возможной чувствительности РЗА при гарантированной селективности. Результаты теоретических исследований использованы в разработках устройств РЗА, выполненных при участии автора. В ИЦ «Бреслер» автора консультировали к.т.н. Ю.В. Романов, к.т.н. С.В. Иванов, к.т.н. В.А. Ефремов.

Целью диссертации является разработка обучаемых модулей микропроцессорных защит линий электропередачи на основе теоретических и прикладных исследований.

Основные задачи, решаемые в работе. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие основные задачи:

1. Разработка и исследование обучаемых многомерных распознающих модулей РЗА и способов их обучения.
2. Разработка и исследование способа распознавания сложного повреждения электрической сети.
3. Разработка метода эквивалентирования имитационных моделей электрической сети.
4. Решение граничной задачи РЗА, ведущее к общей методике задания характеристик срабатывания модулей РЗА.

5. Исследование распознающей способности существующих алгоритмов фазовой селекции. Синтез многомерной распознающей структуры универсального фазового селектора.

6. Исследование и разработка обучаемых многомерных модулей отстройки дифференциально-фазной защиты от коротких замыканий за мощными ответвительными подстанциями линий электропередачи 110-220 кВ.

7. Исследование и разработка обучаемых модулей адаптивной дистанционной защиты линий электропередачи.

Основные методы научных исследований. Для решения поставленных задач применялись методы теоретических основ электротехники, теоретических основ релейной защиты, вычислительной геометрии, математического моделирования с использованием программного комплекса MATLAB.

Научную новизну работы представляют:

1. Разработанные многомерные распознающие структуры, отличающиеся по способу своего действия от традиционных алгоритмов РЗА инвариантностью по отношению к типу защищаемого объекта, позволяющие повысить распознающую способность защиты до физически возможного предела и оценить вклад в распознавание аварийной ситуации отдельного модуля в составе многомерной структуры.

2. Разработанный способ распознавания сложного повреждения электрической системы, позволяющий повысить распознающую способность защиты благодаря предложенной методике разложения сложного противостояния групп режимов на элементарные противостояния отдельных режимов.

3. Решенная в диссертации граничная задача РЗА как основа общей методики задания характеристик срабатывания.

4. Разработанная методика эквивалентирования, которая позволяет заменить исходную сложную многопараметрическую имитационную модель электрической сети эквивалентной моделью с минимальным числом варьируемых параметров.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов обеспечивается использованием обоснованных методов исследования, обсуждением основных результатов работы с отечественными и зарубежными специалистами, совпадением результатов математического и экспериментального моделирования.

Соответствие паспорту специальности. *Соответствие диссертации формуле специальности:* в соответствии с формулой специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» (технические науки): в диссертационной работе целью исследования является совершенствование теоретической и технической базы одной из областей электроэнергетики с целью обеспечения надёжной передачи электроэнергии, предметом исследований является алгоритмическая база РЗА, методы анализа распознающей способности существующих алгоритмов, методы синтеза новых алгоритмов, обладающих повышенной распознающей способностью, методы эквивалентирования имитационных моделей электрических сетей, методы задания характеристик срабатывания релейной защиты.

Соответствие диссертации области исследования специальности: отраженные в диссертации научные положения соответствуют области исследования специальности 05.14.02, а именно:

- к п.6 «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике» паспорта специальности 05.14.02 относится разработанная методика эквивалентирования имитационной модели электрической сети с большим числом варьируемых параметров;

- к п.9 «Разработка методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты в электроэнергетике» относятся методы условного отображения режимов при обучении модулей релейной защиты, способ распознавания сложного повреждения электрической системы, методика задания характеристик срабатывания реле в случае высокой размерности объектного пространства, результаты исследований распознающей способности существующих алгоритмов релейной защиты, разработанный универсальный фазовый селектор, модуль отстройки дифференциально-фазной защиты от коротких замыканий за мощными ответвительными подстанциями, обучаемые модули адаптивной дистанционной защиты.

Практическую ценность диссертации представляют разработанные в ней:

1. Методы обучения многомерных распознающих структур, примененные к синтезу алгоритмов релейной защиты, обладающих повышенной распознающей способностью.

2. Методика эквивалентирования имитационной модели защищаемого объекта с большим числом варьируемых параметров простой эквивалентной моделью с минимальным числом варьируемых параметров, что необходимо для сокращения вычислительных затрат при обучении РЗА.

3. Многомерная распознающая структура универсального избирателя поврежденных фаз.

4. Многомерный алгоритм модуля отстройки от коротких замыканий за мощными ответвительными подстанциями.

5. Обучаемые модули для адаптивной дистанционной защиты линий электропередачи.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты выполненных исследований и разработок использованы в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах ООО «ИЦ «Бреслер» и внедрены или приняты к внедрению в различных устройствах релейной защиты, а именно:

1. Многомерная распознающая структура универсального избирателя поврежденных фаз внедрена в микропроцессорном терминале дифференциально-фазной защиты линий 500 кВ «ТОР300 ДФЗ-500».

2. Многомерная распознающая структура модуля отстройки от коротких замыканий за мощными ответвительными подстанциями внедрена в терминале дифференциально-фазной защиты линий 110-220 кВ «ТОР300 ДФЗ-110».

3. Обучаемый модуль сопротивления и виртуальный модуль приняты к внедрению в терминале адаптивной дистанционной защиты линий «ТОР300 АДЗ».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Многомерные распознающие структуры.
2. Способ распознавания сложного повреждения электрической системы.
3. Методика задания характеристик срабатывания релейной защиты как решение граничной задачи РЗА (задача триангуляции).
4. Методика эквивалентирования имитационной модели электрической сети.
5. Приложения теоретических результатов к задачам построения универсального фазового селектора и модуля отстройки от коротких замыканий за мощными трансформаторами ответственных подстанций дифференциально-фазной защиты, а также обучаемых модулей адаптивной дистанционной защиты.

Личный вклад автора заключается в обнаружении эффекта повышения распознающей способности группы модулей при их последовательном совместном обучении, в дальнейшей разработке алгоритма последовательного обучения модулей, в участии в разработке способа распознавания сложного повреждения электрической сети, в развитии методики задания характеристик срабатывания релейной защиты для случая многомерного объектного пространства, разработке метода эквивалентирования имитационной модели электрической сети, в разработке модуля универсального фазового селектора, модуля отстройки дифференциально-фазной защиты от коротких замыканий за мощными ответвленными подстанциями, в разработке обучаемых модулей адаптивной дистанционной защиты.

Апробация результатов исследований. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и республиканских конференциях: «Current Trends of Power System Relay Protection and Automation Development» (Санкт-Петербург, СИГРЭ, 2011), «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем России (II Международная научно-практическая конференция и выставка (РЕЛАВЭКСПО-2013))» (Чебоксары, 2013), «Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем (ДНДС)» (Чебоксары, 2011), «Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике (ИТЭЭ)» (Чебоксары, 2012, 2014), Республиканские научно-технические конференции молодых специалистов (Чебоксары, Академия электротехнических наук Чувашской Республики (АЭН ЧР), 2010, 2011, 2012), «Человек. Гражданин. Учёный» (Чебоксары, ЧГУ, 2010), «45-ая научная студенческая (региональная) конференция» (Чебоксары, ЧГУ, 2011).

Публикации. Содержание диссертационной работы нашло отражение в 21 научной работе, из которых 6 из перечня ВАК, и в двух патентах на изобретение.

Структура и объём работы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (140 наименований) и трёх приложений. Общий объём составляет 226 стр., в том числе основного текста 194 стр., 153 рисунка, 24 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, изложено состояние проблемы, сформулированы цели и задачи исследования, представлена структура диссертации.

В первой главе приведен обзор источников и описаны разработанный алгоритм обучения модулей многомерной релейной защиты, получивший название способа последовательного условного отображения, а также способ распознавания сложного повреждения электрической сети. Процедура обучения интерпретируется как разрешение противостояния между контролируемыми и альтернативными режимами защищаемого объекта (α - и β -режимы). Задача обучения РЗА – не допустить срабатывания в β -режимах и обеспечить максимально высокую чувствительность к α -режимам.

Режим работы защищаемого объекта определяется значениями объектных параметров его имитационной α - или β -модели. Варьируемые параметры служат координатами объектного пространства C_α или C_β (рис. 1). Режим задаётся точкой в этом пространстве, координаты которой определяют вектор объектных параметров \mathbf{x}_α или \mathbf{x}_β . Например, в трёхмерном пространстве защищаемой линии электропередачи $\mathbf{x} = [x_f, R_f, \delta]^T$, где x_f – расстояние до места повреждения, R_f – переходное сопротивление в месте повреждения, δ – угол передачи. Множество режимов задаётся областью $G \subset C$ (рис. 1).

Посредством преобразования $\mathbf{z}_1 = F_1(\mathbf{x})$, выполняемого имитационной моделью объекта, режим \mathbf{x} отображается в соответствующую точку \mathbf{z}_1 на плоскости первого замера. Всё множество режимов $\mathbf{x} \in G$ в объектном пространстве G отображается на первой плоскости областью $S_1 = F_1(G)$ замеров \mathbf{z}_1 .

Область срабатывания первого модуля защиты определяется как собственная α -область $S_{\alpha\alpha1} = S_{\alpha1} \setminus S_{\alpha\beta1} = S_{\alpha1} \setminus S_{\beta1}$ – разность отображений областей G_α и G_β (рис. 1). На плоскости A_1 первого замера определяются безусловные отображения $S_{\alpha1} = F_{\alpha1}(G_\alpha)$, $S_{\beta1} = F_{\beta1}(G_\beta)$, их пересечение $S_{\alpha\beta1} = S_{\alpha1} \cap S_{\beta1}$ и собственная α -область $S_{\alpha\alpha1} = S_{\alpha1} \setminus S_{\alpha\beta1}$.

Условные отображения вводятся, начиная с обучения второго модуля: условия отображения на второй плоскости A_2 и последующих плоскостях связаны с выделением тех α - и β -режимов, которые не удалось различить на предыдущей плоскости. Соответствующие операции $F_{\alpha1}^{-1}$ и $F_{\beta1}^{-1}$ представляют собой обратные преобразования взаимной области $S_{\alpha\beta1}$, а именно $G_{\alpha1} = F_{\alpha1}^{-1}(S_{\alpha\beta1})$, $G_{\beta1} = F_{\beta1}^{-1}(S_{\alpha\beta1})$, и теперь уже условные отображения на вторую плоскость: $S_{\alpha2}^{\text{усл}} = F_{\alpha2}(G_{\alpha1})$, $S_{\beta2}^{\text{усл}} = F_{\beta2}(G_{\beta1})$, где в общем случае обнаружится своя взаимная область $S_{\alpha\beta2}^{\text{усл}} = S_{\alpha2}^{\text{усл}} \cap S_{\beta2}^{\text{усл}}$ и остающаяся после её исключения область сра-

батывания второго модуля $S_{\alpha\alpha 2}^{усл} = S_{\alpha 2}^{усл} \setminus S_{\beta 2}^{усл}$. На рис. 1 показан частный случай: области $S_{\alpha 2}^{усл}$ и $S_{\beta 2}^{усл}$ не пересекаются, $S_{\alpha\beta 2}^{усл} = \emptyset$.

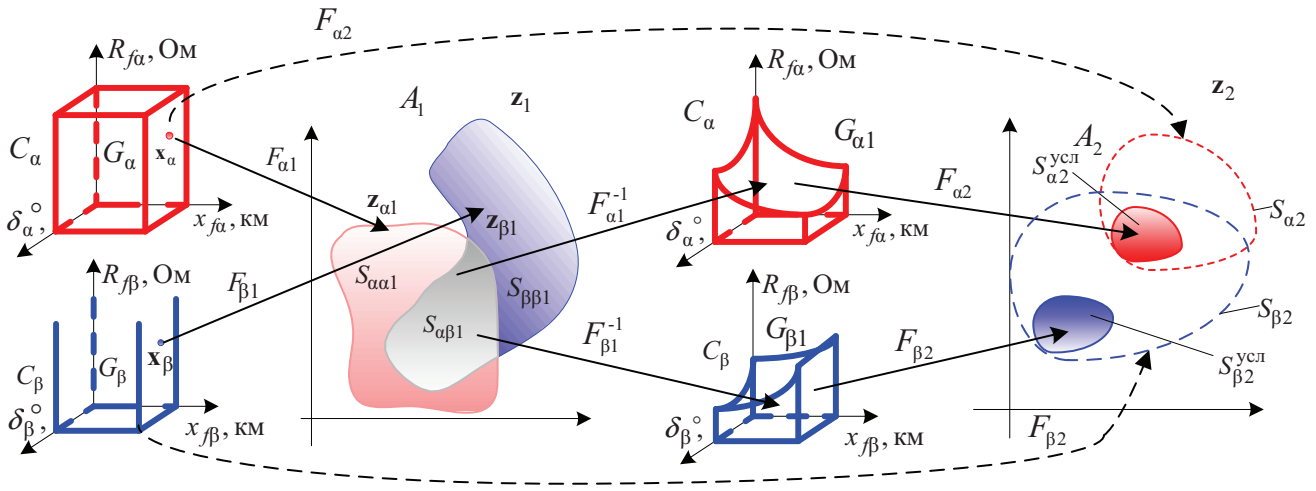


Рис. 1. Иллюстрация процесса последовательного условного отображения режимов на двух плоскостях A_1 и A_2 замеров \mathbf{z}_1 и \mathbf{z}_2

Модули, обученные по методу последовательного условного отображения, объединяются по схеме рис. 2. Положительный эффект последовательного условного отображения режимов обеспечивается тем, что каждый модуль обучается только теми режимами, которые не смог распознать предыдущий модуль. В том случае, если бы модули обучались автономно, область $S_{\alpha 2}^{усл}$ попала бы в зону безусловного отображения β -режимов $S_{\beta 2}$ и стала бы недоступной для распознавания.

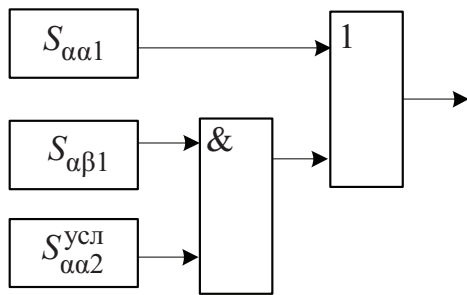


Рис. 2. Логическая схема последовательной распознающей структуры

Разработанный алгоритм последовательного обучения многомерных распознающих структур ставит своей задачей максимально полное использование имеющейся в распоряжении защиты информационной базы. Задача повышения достоверности доступной информации тесно связана с цифровой обработкой входных величин. В диссертации рассмотрена задача дешумизации входных сигналов с помощью сингулярного анализа.

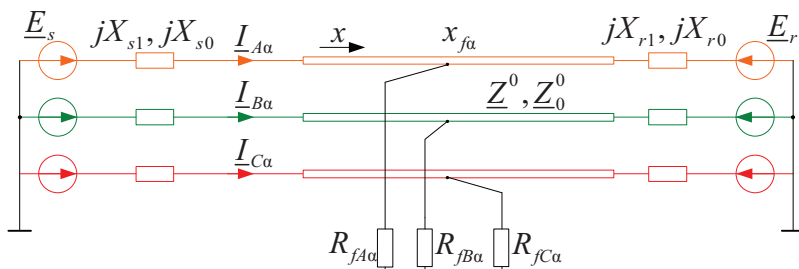


Рис. 3. Имитационная модель электропередачи

В первой главе также описан разработанный способ распознавания сложного повреждения электрической системы. Его особенность заключается в разложении сложного противоятия групп режимов на элементарные противоятия, что иллюстри-

руется на примере задачи фазовой селекции – распознавания повреждения фазы A электрической сети вследствие какого-нибудь несимметричного замыкания на землю. Информационную базу релейной защиты в данной задаче составляют три тока, наблюдаемых в текущем режиме электропередачи (рис. 3).

Варьируемые параметры имитационной модели приведены в табл. 1. Заметим, что при двухфазных земляных КЗ варьируется на одно переходное сопротивление больше, чем при однофазных КЗ. Фиксированы напряжения источников: $E_s = E_r = U_{ф,ном} = (500/\sqrt{3})$ кВ ,

Таблица 1. Варьируемые параметры имитационной модели по рис. 3

Параметры α - и (или) β -режимов	Диапазоны изменения
$x_{f\alpha}, x_{f\beta}$	$0 \dots l$
$R_{fA\alpha}, R_{fB\alpha}, R_{fC\alpha}$	$0 \dots R_{f\alpha пред}$
$R_{fB\beta}, R_{fC\beta}$	$0 \dots \infty$
$\delta = \arg(E_s/E_r)$	$-60^\circ \dots 60^\circ$
X_{s1}	$140 \dots 160$ Ом
X_{r1}	$100 \dots 110$ Ом
X_{s0}/X_{s1}	$0,4 \dots 0,5$
X_{r0}/X_{r1}	$2,5 \dots 3,0$

длина линии $l = 280$ км , первичные параметры линии прямой и нулевой последовательностей в Ом/км: $X_1^0 = 0,302$, $R_1^0 = 0,12$, $X_0^0 = 0,696$, $R_0^0 = 0,27$. Предельное значение $R_{f\alpha пред}$ переходных сопротивлений в α -режимах определялось из условия распознавания всего множества G_α , иначе говоря, из условий $G_\alpha \equiv G_{\alpha\alpha}$, $G_{\alpha\beta} \equiv 0$.

Гальваническая связь с землей одной из фаз электрической системы – сложное событие. Сложность обусловлена, во-первых, существованием трех разнотипных α -режимов: однофазного КЗ $K_{A\alpha}^{(1)}$ и двухфазных КЗ $K_{AB\alpha}^{(1,1)}$, $K_{CA\alpha}^{(1,1)}$, а во-вторых, их противостоянием с тремя β -режимами: однофазными КЗ $K_{B\beta}^{(1)}$, $K_{C\beta}^{(1)}$ и двухфазным $K_{BC\beta}^{(1,1)}$. Создание информационного портрета структуры, распознающей сложное повреждение объекта, начинается с разграничения противостоящих элементарных событий. В данной задаче насчитывается девять таких пар, обозначаемых по типу $K_{A\alpha}^{(1)} | K_{B\beta}^{(1)}$. Каждое элементарное противостояние разрешается отдельным распознающим модулем, а вся распознающая структура насчитывает девять модулей, группируемых по три логическими операциями «И» (рис. 4).

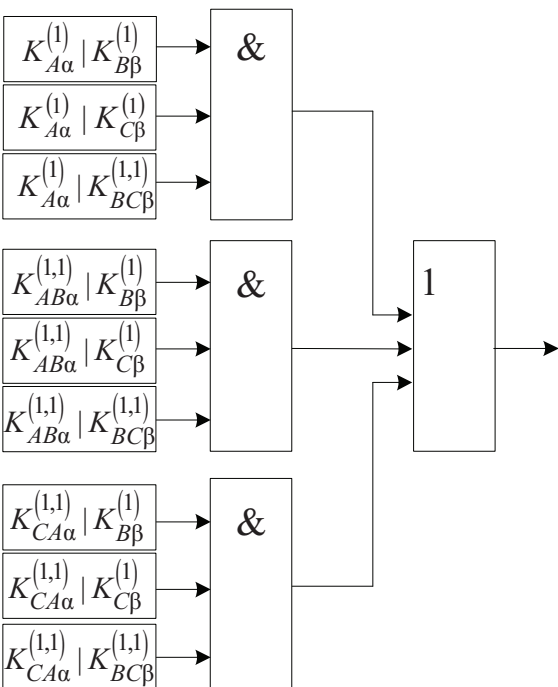


Рис. 4. Структура, распознающая причастность фазы A к замыканию на землю

Информационный портрет распознающей структуры по рис. 4 представлен в табл. 2, 3. Замер в виде соотношения токов обратной и нулевой последовательности I_2/I_0 обладает способностью разрешать

четыре элементарных противостояния: $K_{A\alpha}^{(1)} | K_{B\beta}^{(1)}$, $K_{A\alpha}^{(1)} | K_{C\beta}^{(1)}$, $K_{AB\alpha}^{(1,1)} | K_{B\beta}^{(1)}$, $K_{CA\alpha}^{(1,1)} | K_{C\beta}^{(1)}$ из девяти (табл. 2, $K_{A\alpha}^{(1)} | K_{B\beta}^{(1)}$). Поскольку остающиеся пять противостояний не удается разрешить на основе какого-либо одного замера, то применяется метод последовательных условных отображений. Определяется второй дополнительный замер $\underline{I}_1(\underline{I}_2 + \underline{I}_0)^*$, ввод которого вслед за замером $\underline{I}_2 / \underline{I}_0$ позволяет решить остающуюся часть задачи.

Таблица 2. Противостояние режимов, разрешаемое на одной плоскости

Режимы		Замер $\underline{I}_2 / \underline{I}_0$, о.е.
α	β	
$K_A^{(1)}$	$K_B^{(1)}$	

Таблица 3. Пример разрешения противостояния $K_{A\alpha}^{(1)} | K_{BC\beta}^{(1,1)}$ на двух плоскостях

Режимы		Замеры	
α	β	$\underline{I}_2 / \underline{I}_0$, о.е.	$\underline{I}_1(\underline{I}_2 + \underline{I}_0)^*$, A^2 .
$K_A^{(1)}$	$K_{BC}^{(1,1)}$		

возможность предоставляется методом эквивалентного генератора, но необходимо справиться с проблемой задания его параметров. Допустим, электрическая сеть по рис. 5, а имеет исходную модель по рис. 5, б, где $\underline{E}_1, \underline{E}_2, \underline{E}_3$ – ЭДС систем ЭС1, ЭС2, ЭС3, РС – реле сопротивления. Красным цветом обозначены участки КЗ в зоне, синим – вне зоны. $\underline{I}_s, \underline{U}_s$ – ток и напряжение в месте наблюдения, $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3$ – сопротивления систем, $R_{f\alpha}$ – переходное сопротивление в α -режимах КЗ в зоне, $R_{f\beta 1}, R_{f\beta 2}, R_{f\beta 3}$ – переходные сопротивления в β -режимах КЗ вне зоны, $x_{f\alpha}$ – расстояние до места повреждения при КЗ в зоне, $x_{f\beta 1}, x_{f\beta 2}, x_{f\beta 3}$ – расстояние до места повреждения при КЗ вне зоны на соответствующих участках,

В табл. 3 приведён пример разрешения одного противостояния $K_{A\alpha}^{(1)} | K_{BC\beta}^{(1,1)}$. Достижимое при этом предельное значение переходного сопротивления в α -режиме $R_{f\alpha пред}$ составило 47 Ом.

Во второй главе рассмотрена задача эквивалентирования сложной имитационной модели электрической сети. Актуальность задачи подчеркивается тем обстоятельством, что имитационная модель объекта призвана обучать его защиту, однако использование сложной многопараметрической модели наталкивается на значительные вычислительные трудности, связанные с необходимостью расчёта разветвленной электрической сети во многих режимах её работы. Возникает задача эквивалентирования исходной модели простейшей моделью с минимальным числом варьируемых параметров. Такая

l_1, l_2, l_3 – длины линий электропередачи, $l_{\text{зп}}$ – длина защищаемой зоны. Ставится задача представления сети относительно конца защищаемой зоны эквивалентными генераторами α - и β -режимов (рис. 6). Значения параметров сети приведены в табл. 4, диапазонов изменения параметров – в табл. 5. Исходная модель призвана обучить эквивалентные модели.

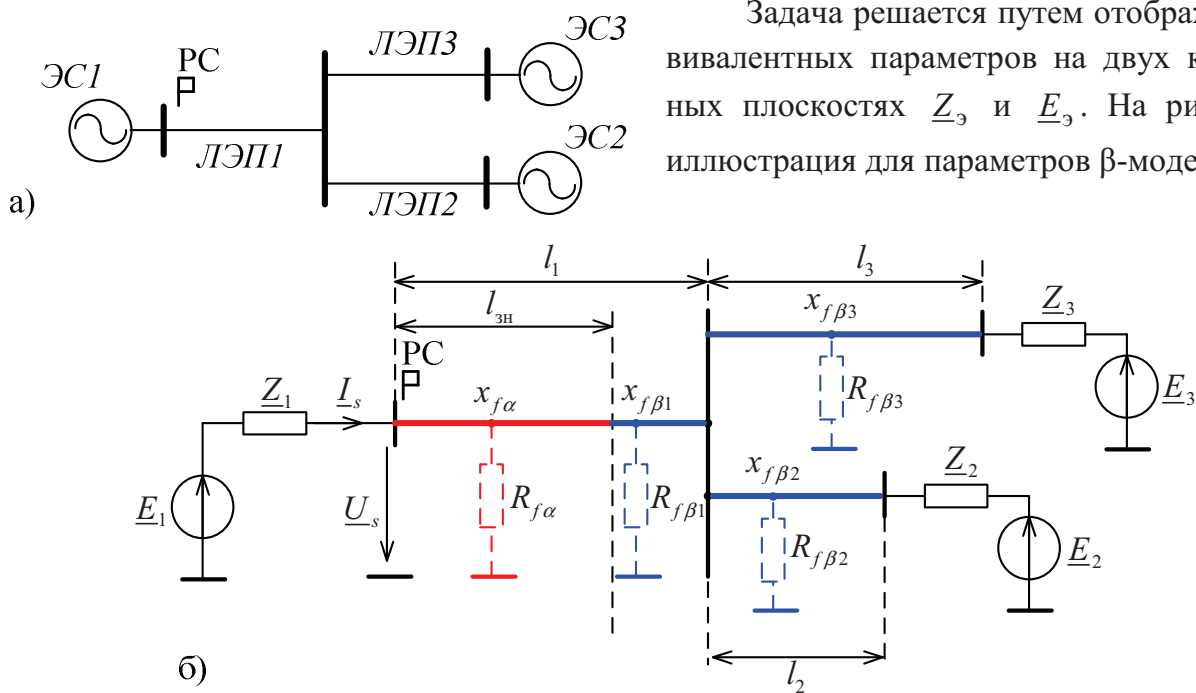


Рис. 5 – Исходная сеть и её модель

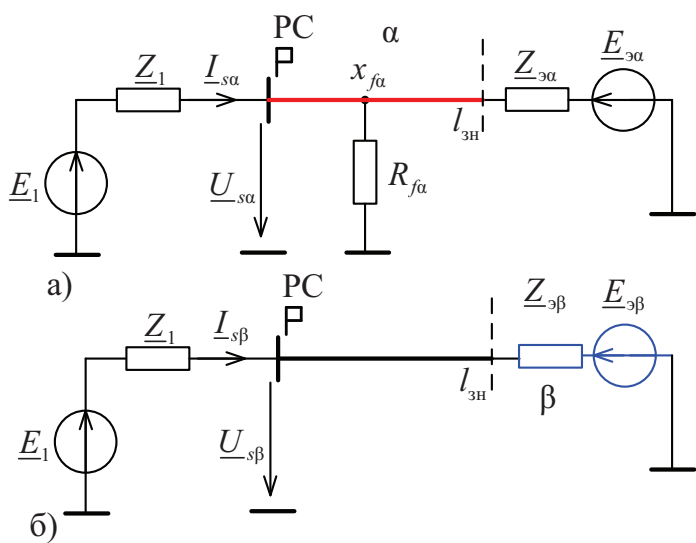


Рис. 6 – Эквивалентные модели сети
а - в α -режимах, б - в β -режимах

Области отображений разбиваются на N^2 ячеек. Те пары, составленные из ячеек разных плоскостей, которые несут информацию о режимах эквивалентированной части сети, выявляются следующим образом. Для каждой ячейки ΔS_{1pq} (рис. 7) на первой плоскости $Z_{\varepsilon\beta}$ ($i=1$) определяется множество отображающихся в ней режимов ΔG_{1pq} . Эти же режимы отображаются на плоскости второго параметра $E_{\varepsilon\beta}$ в подобласти $S_2(\Delta G_{1pq})$, которая содержит подмножество своих ячеек, образующих общие коды с ячейкой ΔS_{1pq} первой плоскости (табл. 6). Подобная операция проводится для всех ячеек области S_1 , и каждой ячейке на плоскости $Z_{\varepsilon\beta}$ ставится в соответствие подмножество ячеек плоскости $E_{\varepsilon\beta}$. Как следствие, эквивалентная модель задаётся набором ячеек на плоскостях $Z_{\varepsilon\beta}$ и $E_{\varepsilon\beta}$, а кроме того граничными линиями L_1 и L_2 .

Задача решается путем отображения эквивалентных параметров на двух комплексных плоскостях Z_{ε} и E_{ε} . На рис. 7 дана иллюстрация для параметров β -модели.

Таблица 4. Значения параметров электрической сети

Параметр	E_3/E_1 , о.е.	δ_1 , град	δ_3 , град	l_1 , км	l_2 , км	l_3 , км	$l_{3н}$, км	Z_1 , Ом	Z_3 , Ом
Значение	1,05	0	-10	100	100	200	85	$1+j10$	$1+j7$

Таблица 5. Диапазоны изменения параметров электрической сети

Параметр	E_2/E_1 , о.е.	δ_2 , град	Z_2 , Ом	$\arg Z_2$, град	R_{fa} , Ом	R_{fb} , Ом
Диапазон	0,95...1,05	-30...30	1...10	70...90	0...100	0...∞

Таблица 6. Коды ячеек подобласти $S_2(\Delta G_{1,10,10})$

p_2	21	21	21	21	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	24	24
q_2	2	3	4	5	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	4	5

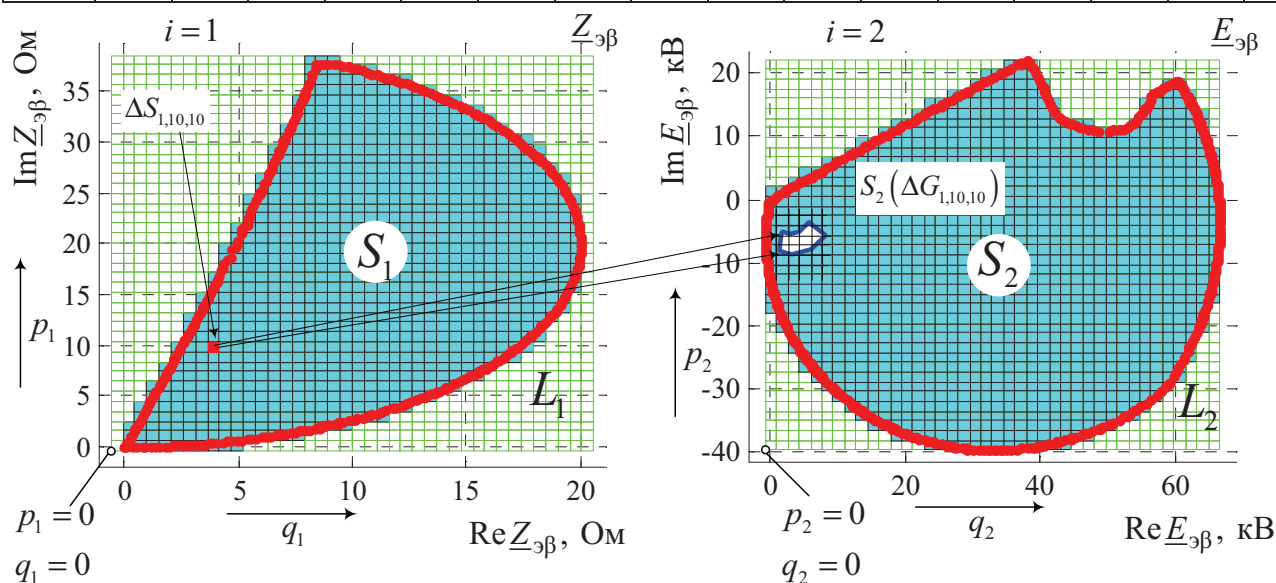


Рис. 7. Разбиение прямоугольников, охватывающих области отображения эквивалентных параметров $Z_{эб}$ и $E_{эб}$, на $N^2 = 1600$ ячеек

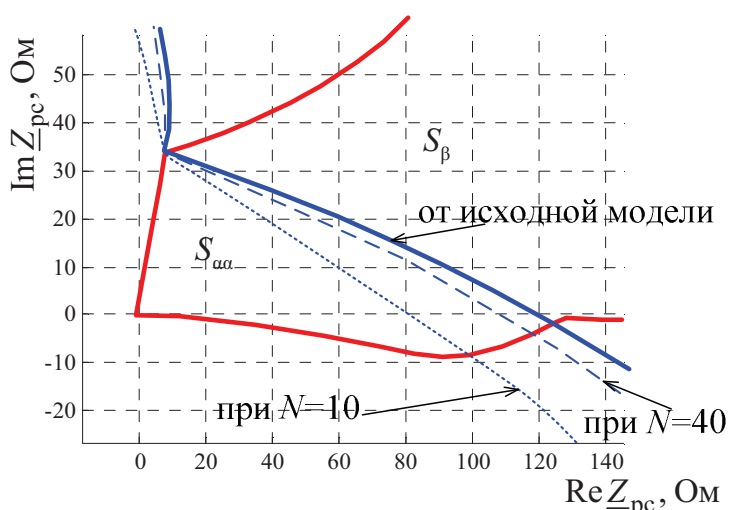


Рис. 8. Отображение на плоскости Z_{pc} множества режимов исходной и эквивалентной моделей

На рис. 8 показана область срабатывания модуля сопротивления, обученного от эквивалентной модели сети при дроблении областей отображения её параметров на $N^2 = 100$ и $N^2 = 1600$ ячеек. Как видим, с увеличением числа ячеек модель всё более освобождается от избыточных режимов, приближаясь по своим информационным свойствам к исходной имитационной модели.

В этой же главе рассмотрена граничная задача, ведущая к общей процедуре построения характеристик срабатывания релейной защиты и имеющая целью определение множества граничных режимов – прообраза границы области замеров,

задаваемого в объектном пространстве значениями вектора \mathbf{x} варьируемых параметров имитационной модели. Располагая прообразом характеристики и имитационной моделью объекта, можно задать на плоскостях замеров \mathbf{z}_i любое необходимое число граничных точек. В работе рассмотрены различные аспекты граничной задачи на примере имитационной модели электропередачи в режиме короткого замыкания с шестью варьируемыми параметрами (рис. 9, табл. 7).

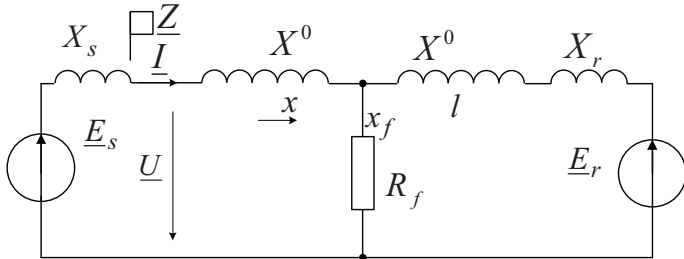


Рис. 9. Имитационная модель двухпроводной линии в α - и β -режимах короткого замыкания

Таблица 7. Варьируемые параметры имитационной модели в α - и β -режимах

Параметр	Режим	Значения	
		Нижнее (inf)	Верхнее (sup)
δ , град	α, β	-60	60
X_f , Ом	α	0	50
	β	50	100
R_f , Ом	α	0	100
	β	0	∞
K , о.е.	α, β	0,95	1,05
X_s , Ом	α, β	0	100
X_r , Ом	α, β	0	100

Наблюдаемые величины – ток \underline{I} и напряжение \underline{U} , формируемый замер – комплексное сопротивление $\underline{Z} = \underline{U} / \underline{I}$. В табл. 7 использованы обозначения: $K = E_s / E_r$, $\delta = \arg(\underline{E}_s / \underline{E}_r)$, $X_f = X^0 x_f$, X^0 – удельное индуктивное сопротивление линии, x_f – координата места повреждения. Помимо X^0 к числу фиксированных параметров принадлежит ещё длина линии l ; в расчетах принято $X^0 l = 100$ Ом. Длина защищаемой зоны принята равной $l/2$, следовательно, сопротивление X_f в α -режимах изменяется в пределах от 0 до 50 Ом, а в β -режимах – от 50 до 100 Ом. Кроме того, различаются диапазоны переходных сопротивлений: в α -режимах их значения ограничены величиной 100 Ом, а в β -режимах они варьируются без ограничения по верхнему

уровню. Объектные области G_α и G_β представляют собой в данном примере шестимерные многогранники. На плоскости замера \underline{Z} они отображаются в форме плоских фигур S_α и S_β с граничными линиями L_{S_α} и, соответственно, L_{S_β} . В условиях рассматриваемой задачи характеристикой срабатывания органа сопротивления служит граничная линия $L_{S_{\alpha\alpha}}$ разностной области замеров $S_{\alpha\alpha}$.

В рассматриваемом примере линия граничных замеров L_{S_α} состоит из большого числа участков (рис. 10). Протяжённый участок (показан пунктирной линией) представляет собой годограф вектора \underline{Z} при вариациях угла передачи δ и фиксации остальных пяти параметров: $X_{f\alpha}, X_s$ и $R_{f\alpha}$ на верхнем уровне, а K и X_r – на нижнем.

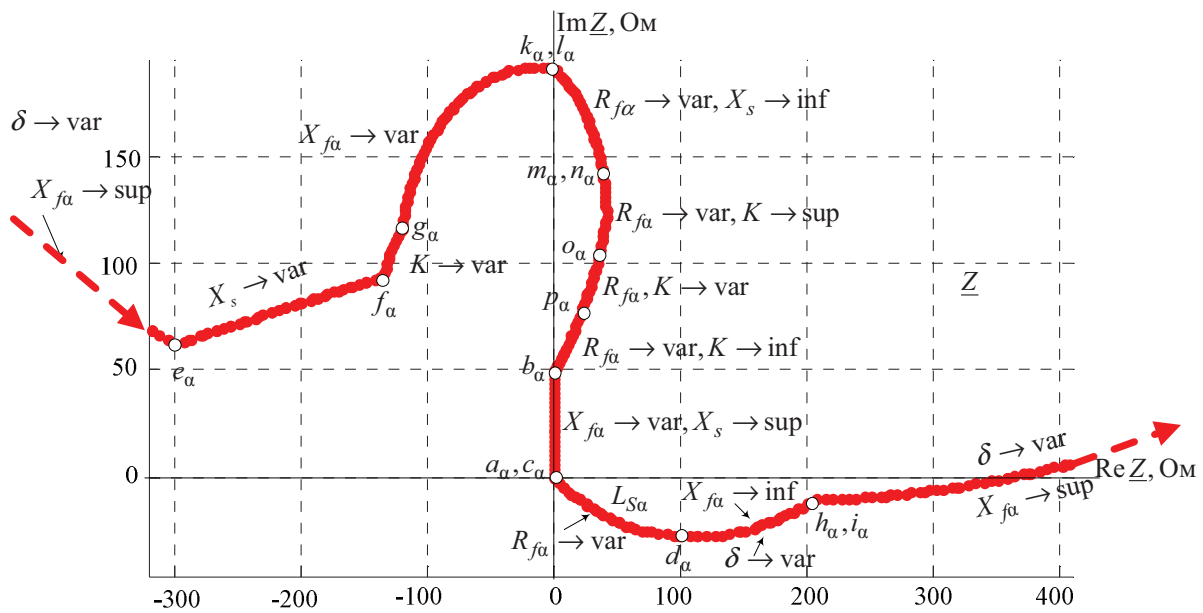


Рис. 10. Линия граничных замеров $L_{S\alpha}$ при отображении α -режимов имитационной модели, заданных шестимерным многогранником параметров G , на плоскость \underline{Z}

Для построения прообраза $L_{G\alpha}$ линии граничных замеров $L_{S\alpha}$ в данном случае оказалось достаточным привлечь четыре подпространства: два трёхмерных (рис. 11, а и в) и два двумерных (рис. 11, б и г).

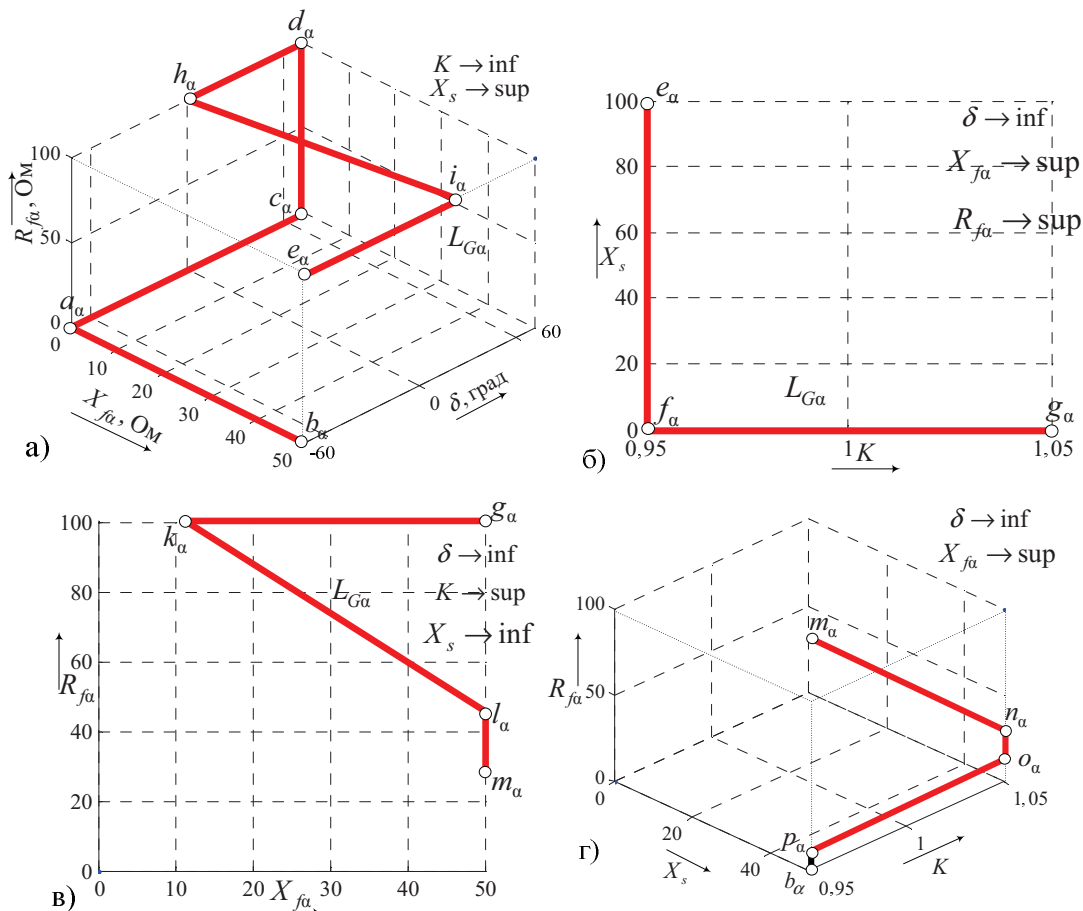


Рис. 11. Прообраз $L_{G\alpha}$ в объектных подпространствах

Линия прообраза L_{G_α} непрерывна, из первого подпространства (рис. 11, а) во второе (рис. 11, б) она переходит в точке e_α , из второго в третье (рис. 11, в) – в точке g_α , из третьего в четвертое (рис. 11, г) – в точке m_α , наконец, возвращается в точку b_α . На рис. 12, а β -режимы отображены только в тех местах плоскости \underline{Z} , где происходит их разграничение с отображениями α -режимов. Как видно из рис. 12, а, β -режимы оставляют для области срабатывания $S_{\alpha\alpha}$ лишь малую часть обширной области отображения α -режимов S_α .

Область $S_{\alpha\alpha}$ ограничивается сверху тем участком граничной линии $L_{S\beta}$, прообраз которого показан на рис. 12, б в трёхмерном объектном пространстве. Он проходит по одному из рёбер многогранника G_β , где $R_{f\beta} \rightarrow \text{var}$.

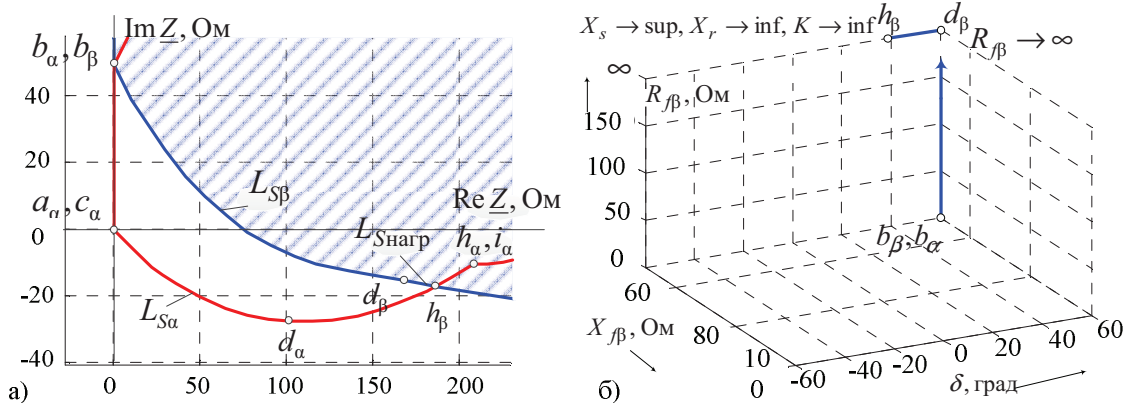


Рис. 12. Область отображения β -режимов, пересекающаяся с областью отображения α -режимов (а), и прообраз верхней границы области $S_{\alpha\alpha}$ (б)

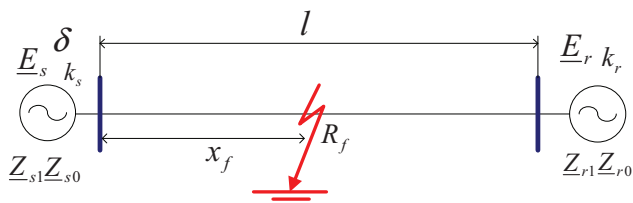


Рис. 13. Наблюдаемый объект: линия 500 кВ

Наблюдаемый объект – линия электропередачи 500 кВ (рис. 13). Приняты диапазоны вариации параметров, указанные в табл. 8. Поставлена задача добиться распознавания режима КЗ при переходном сопротивлении до 100 Ом на некотором числе плоскостей замеров с участием замера напряжения.

В работе была исследована распознающая способность традиционных алгоритмов фазового селектора: на основе замеров токов симметричных составляющих и на основе замера сопротивления. Показано, что они не дают решения задачи. На рис. 14 представлены характеристики срабатывания многомерной распознающей структуры, способной распознавать повреждение фазы А на землю в диапазоне $0 \leq R_f \leq 100$ Ом.

В третьей главе дано практическое применение теоретических результатов на примере реализации фазового селектора, в котором не предусмотрены уставки, в том числе по длине линии, и не предполагается использование информации о предшествующем режиме. Наблюда-

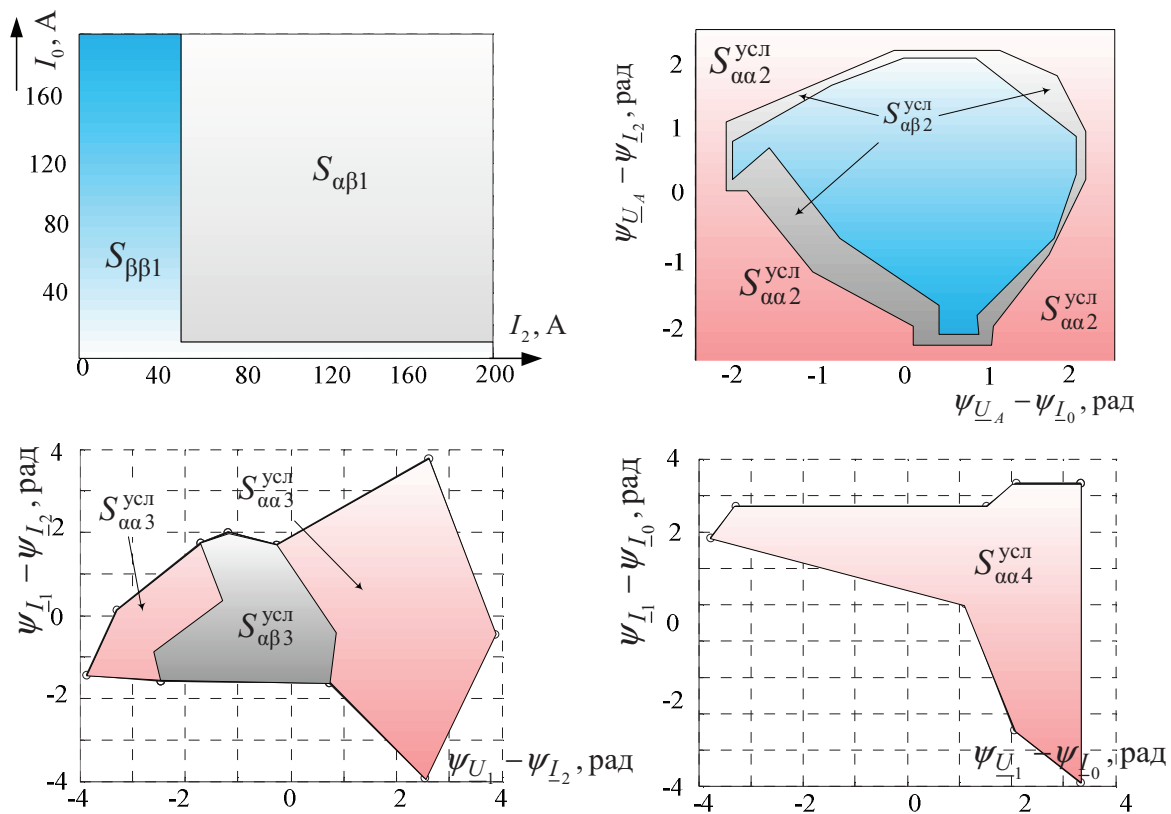


Рис. 14. Характеристики срабатывания 4-х модулей, входящих в многомерную распознающую структуру универсального фазового селектора

Таблица 8. Диапазоны вариации параметров

Параметр, раз-	min	max
$\delta, ^\circ$	-60	60
$x_f, \text{ км}$	0	l
$k_{Es} = E_s / U_{\text{НОМ}}, \text{ о.е.}$	0,94	1,05
$k_{Er} = E_r / U_{\text{НОМ}}, \text{ о.е.}$	0,94	1,05
$Z_{s1}, \text{ Ом}$	29,0	161,72
$\arg \underline{Z}_{s1}, ^\circ$	70	90
$Z_{s0} / Z_{s1}, \text{ о.е.}$	0,9	3
$\arg \underline{Z}_{s0}, ^\circ$	70	90
$Z_{r1}, \text{ Ом}$	25,1	110,39
$\arg \underline{Z}_{r1}, ^\circ$	70	90
$Z_{r0} / Z_{r1}, \text{ о.е.}$	0,9	3
$\arg \underline{Z}_{r0}, ^\circ$	70	90
$l, \text{ км}$	10	500

принято реле проводимости $\underline{Y}_{ss} = \underline{I}_s / \underline{U}_s$, где \underline{I}_s – комплекс тока текущего режима в месте установки защиты; \underline{U}_s – напряжение текущего режима в месте установки защиты.

Многомерная распознающая структура фазового селектора реализована в качестве опции в логике однофазного повторного включения в терминале дифференциально-фазной защиты линий 500 кВ «ТОР300 ДФЗ-500» (рис. 18, а), выполненном при участии автора.

В четвертой главе рассмотрена вторая прикладная задача – отстройка от коротких замыканий за мощными трансформаторами ответвительных подстанций на линии 110 кВ с двусторонним питанием. На рис. 15 рассмотрен случай питания двух трансформаторов подстанции от одной линии электропередачи. Вариант, принятый на этапе внедрения модуля отстройки, охватывает все схемы подключения трансформаторов к питающим линиям. В качестве первого модуля

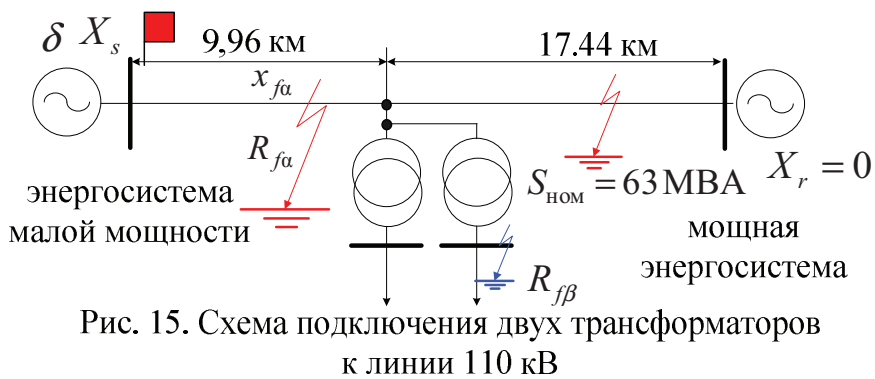


Рис. 15. Схема подключения двух трансформаторов к линии 110 кВ

Диапазоны варьируемых параметров $0 \leq x_f \leq 27,4$ км, $0 \leq R_{fa} \leq 100$ Ом, $0 \leq R_{fb} \leq \infty$ Ом, $0 \leq X_s \leq 50$ Ом. На рис. 16 представлена объектная характеристика двух модулей для случая их автономного обучения и объединения по традиционной схеме ИЛИ. Из рис. 16 видно, что в конце защищаемой зоны данные модули способны распознать замыкания на магистральной линии при $R_{fa} \leq 11$ Ом.

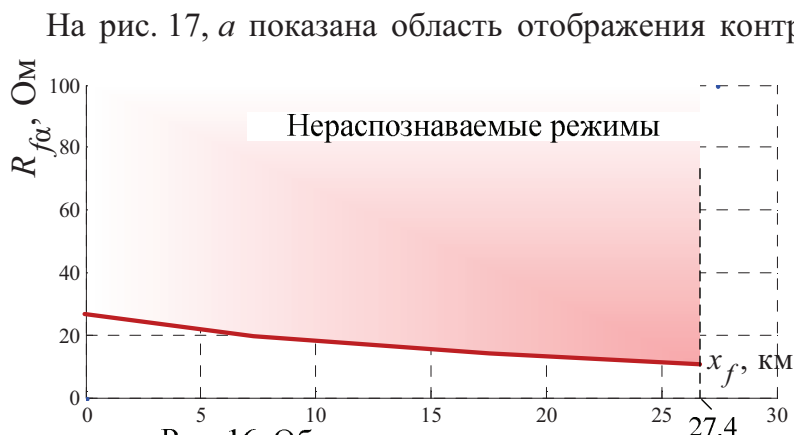


Рис. 16. Объектная характеристика автономно обучаемых модулей

Замер второго модуля формируется согласно выражению $Z_{sa} = \underline{U}_s / I_{sav}$, где I_{sav} – аварийная составляющая тока в месте установки защиты. Рассматривалась имитационная модель ЛЭП сетей «Янтарьэнерго».

режимов для первого модуля в увеличенном масштабе.

На область $S_{\alpha\beta 1}$ нанесена сетка, каждая клетка которой представляет собой подобласть $S_{\alpha\beta 1}^{i,j}$, где i – номер клетки по оси абсцисс, j – по оси ординат.

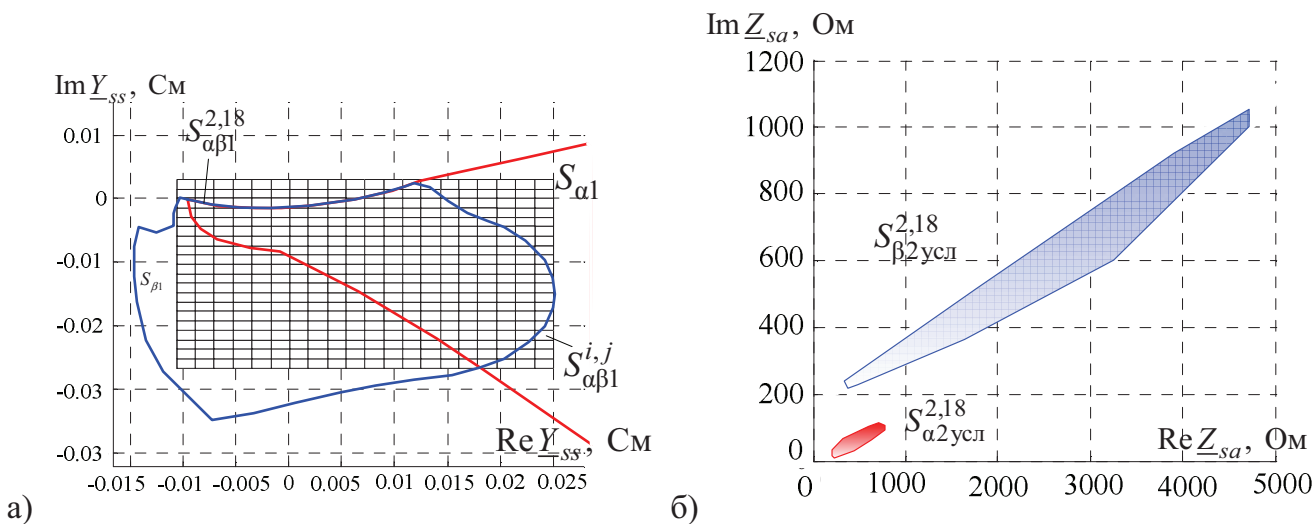


Рис. 17. Распознающая структура модуля отстройки от КЗ за мощными трансформаторами ответвительных подстанций: а – плоскость первого модуля; б – пример отображения α - и β -режимов на плоскости второго модуля, отображения которых на первой плоскости попадают в подобласть $S_{\alpha\beta 1}^{2,18}$ первого модуля

Согласно алгоритму обучения последовательного типа на плоскости второго модуля осуществляется отображение только тех α - и β -режимов, отображения которых попадают в клетку $S_{\alpha\beta 1}^{i,j}$ первой плоскости. Такая процедура осуществляется для каждой из клеток. На рис. 17, б показан пример отображения α - и β -режимов на второй плоскости для клетки $S_{\alpha\beta 1}^{2,18}$.

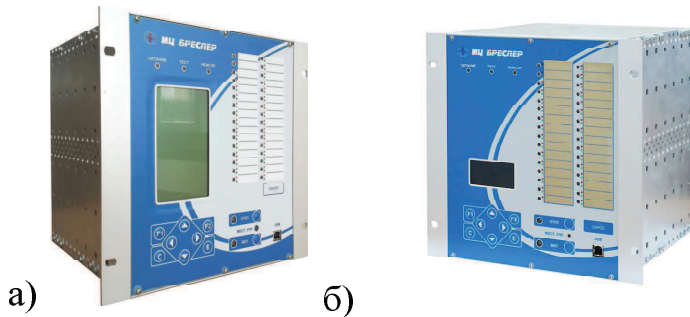


Рис. 18. Терминалы дифференциально-фазной защиты ТОР300 ИЦ «Бреслер»: а – линий 500 кВ «ТОР300 ДФЗ-500» с логикой однофазного повторного включения; б – линий 110-220 кВ «ТОР300 ДФЗ-110» с модулем отстройки от КЗ за мощными трансформаторами ответвительных подстанций

Аналогичным образом можно показать, что для каждой клетки по рис. 17, а на плоскости второго реле наблюдается расхождение областей α - и β -режимов. Иными словами, распознающая структура модуля отстройки от КЗ за трансформаторами отпаяк позволяет распознавать режимы КЗ при $0 \leq R_{f\alpha} \leq 100$ Ом. Обучаемая многомерная распознающая структура модуля отстройки от коротких замыканий за мощными трансформаторами ответвлений реализована в терминале дифференциально-фазной защиты линий 110-220 кВ «ТОР300 ДФЗ-110» (рис. 18, б), разработанном при участии автора.

В пятой главе теоретические положения, представленные в двух первых главах, применены к разработке обучаемых модулей адаптивной дистанционной защиты с высокой распознающей способностью (задание ОАО «Тюменьэнерго»). Подготовлена имитационная модель защищаемой линии и проведено сравнение распознающей способности традиционного модуля сопротивления, характеристика которого рассчитана по рекомендациям традиционной методики расчёта уставок (рис. 19, а), и нового модуля, характеристика срабатывания которого получена посредством его обучения множеством режимов (рис. 19, б).

Замер реле $Z_{т.р.}$ по рис. 19 формируется согласно выражению $Z_{т.р.} = \underline{U}_A / \left(\underline{I}_A - \underline{I}_0 \cdot \left(\underline{Z}_1^0 - \underline{Z}_0^0 \right) / \underline{Z}_1^0 \right)$, где \underline{U}_A – фазное напряжение в месте наблюдения; \underline{I}_A – ток фазы А в месте наблюдения; \underline{I}_0 – ток нулевой последовательности в месте наблюдения; \underline{Z}_1^0 , \underline{Z}_0^0 – удельные сопротивления прямой и нулевой последовательностей.

Проведенные исследования показали, что характеристика срабатывания, полученная на основе обучения множеством режимов, позволяет охватить большее число режимов КЗ в зоне, что дает ощутимое повышение чувствительности, иллюстрируемое объективными характеристиками распознавания однофазного КЗ (рис. 20).

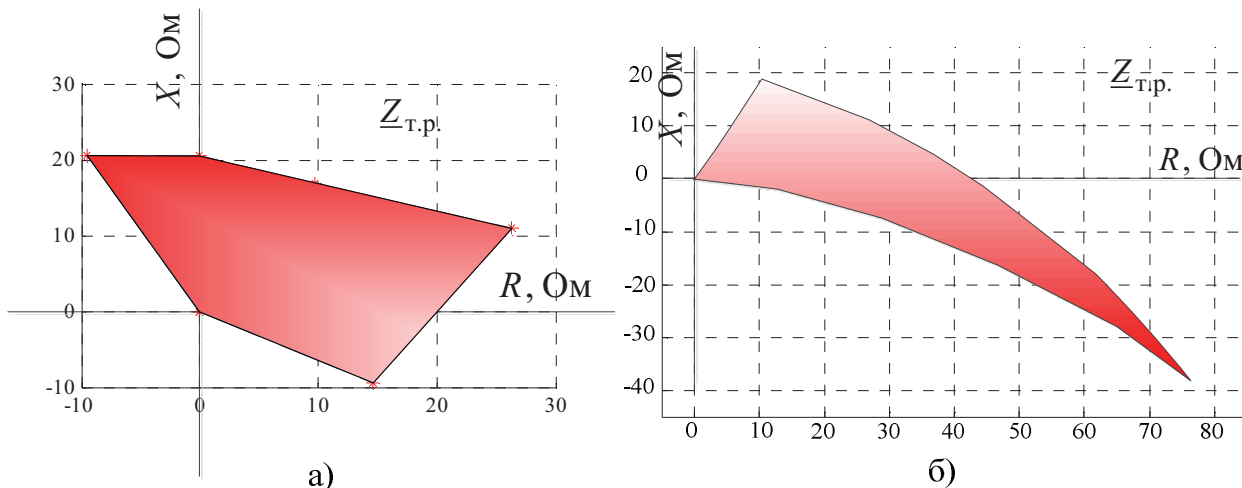


Рис. 19. Характеристики срабатывания модуля сопротивления: *а* – полученные на основе расчета по традиционной методике, *б* – полученные на основе обучения множествами α - и β -режимов

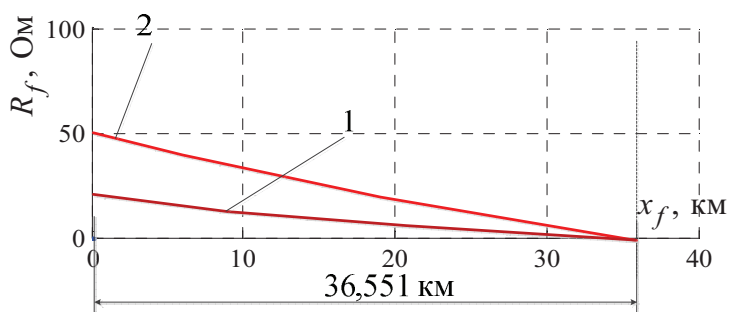


Рис. 20. Объектные характеристики модуля с полигональной характеристикой (1) и обучаемого модуля (2)

Помимо обучаемого модуля сопротивления, в состав адаптивной дистанционной защиты входит обучаемый виртуальный модуль, использующий информацию о предшествующем режиме электропередачи. Его замер формируется согласно выражению $\underline{Z}_{в.р.} = \underline{U}_{Af} / (\underline{I}_{Аав})$, где \underline{U}_{Af} – расчётное напряжение в конце зоны.

На рис. 21 красным цветом выделена характеристика срабатывания виртуального реле, синим – области отображения альтернативных режимов.

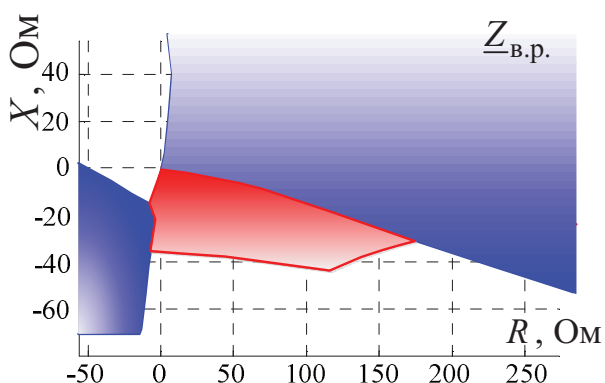


Рис. 21. Область срабатывания виртуального модуля (показана красным цветом) и области отображения β -режимов (показаны синим цветом)

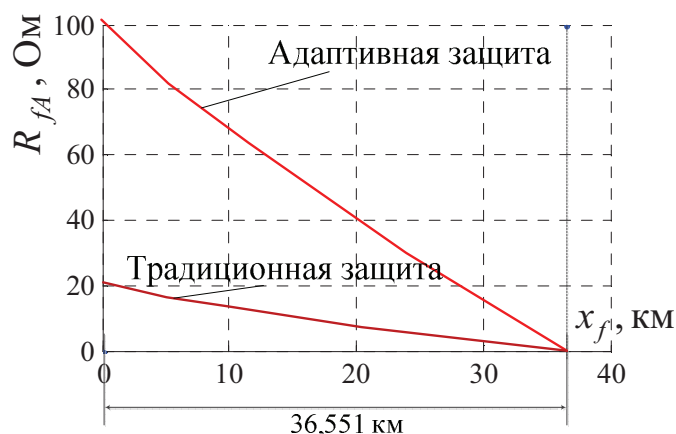


Рис. 22. Объектные характеристики модулей традиционной и адаптивной дистанционной защиты

Совместное использование обучаемого модуля сопротивления (рис. 19, б) и виртуального модуля (рис. 21) позволяет значительно повысить распознающую способность дистанционной защиты (рис. 22). Разработанный алгоритм принят к внедрению в терминале «ТОР300 АДЗ».

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана модификация метода условного отображения режимов – метод последовательного обучения модулей РЗА. Приведены алгоритмы этапов обучения и условия срабатывания модулей, прошедших обучение. Предложенный метод решает задачу объединения информации в устройстве РЗА.

2. Разработан способ распознавания сложного повреждения электрической системы, позволяющий разрешать сложное противостояние групп режимов через разрешение элементарных противостояний. Способ применён в разработке универсального фазового селектора.

3. Разработана методика эквивалентирования сложной имитационной модели электрической сети. Получаемые на основе метода эквивалентные модели обладают минимальным числом варьируемых параметров и гарантируют воспроизведение всех режимов исходной модели практически без захвата избыточных режимов. Применение эквивалентных моделей делает обучение модулей РЗА относительно несложной процедурой.

4. Поставлена граничная задача релейной защиты, связанная с поиском граничной линии области замеров и её прообраза в пространстве режимов. Показано, что прообраз является той первоосновой, которая создаёт характеристики срабатывания модулей РЗА. Приведен пример решения задачи поиска прообраза в объектном пространстве высокой размерности.

5. Синтезирована многомерная распознающая структура универсального фазового селектора для линий 500 кВ, которая реализована в логике однофазного повторного включения в микропроцессорном терминале дифференциально-фазной защиты линий 500 кВ «ТОР300 ДФЗ-500», разработанном при участии автора.

6. Дана постановка задачи разработки органа отстройки дифференциально-фазной защиты линий 110-220 кВ от коротких замыканий за мощными трансформаторами ответвлений. Проведён анализ распознающей способности двух модулей, обученных автономно. Показана неприменимость автономного обучения реле для решения поставленной задачи. Синтезирована многомерная распознающая структура, решающая поставленную задачу. Соответствующий модуль реализован в терминале дифференциально-фазной защиты линий 110-220 кВ «ТОР300 ДФЗ-110», разработанном при участии автора.

7. Развитые в диссертации теоретические положения применены в разработке обучаемых модулей адаптивной дистанционной защиты. Показано значительное повышение чувствительности защиты по сравнению с традиционным алгоритмом. Обучаемые модули приняты к внедрению в терминале «ТОР300 АДЗ», разработанном при участии автора.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях из перечня ВАК

1. Мартынов М.В. Обучаемая релейная защита. Ч.1. Методы условных отображений / Ю.Я. Лямец, М.В. Мартынов, Г.С. Нудельман, Ю.В. Романов, П.И. Воронов // *Электричество*. – 2012. – № 2. – С. 15-19. (0,58 п.л. / 0,22 п.л.).
2. Мартынов М.В. Обучаемая релейная защита. Ч.2. Информационный портрет многомодульной распознающей структуры / Ю.Я. Лямец, М.В. Мартынов, Г.С. Нудельман, Ю.В. Романов, П.И. Воронов // *Электричество*. – 2012. – № 3. – С. 12-18. (0,75 п.л. / 0,16 п.л.).
3. Мартынов М.В. Граничные задачи в информационной теории релейной защиты / Ю.Я. Лямец, Г.С. Нудельман, Ю.В. Романов, М.В. Мартынов, П.И. Воронов // *Электротехника*. – 2011. – № 1. – С. 13-18. (0,69 п.л. / 0,21 п.л.).
4. Мартынов М.В. Распознавание противостоящих режимов электрической системы / Ю.Я. Лямец, Г.С. Нудельман, Ю.В. Романов, М.В. Мартынов, П.И. Воронов // *Нелинейный мир*. – 2011. – Т. 9. – № 9. – С. 600-606. (0,75 п.л. / 0,31 п.л.).
5. Мартынов М.В. Сингулярный анализ процессов в электрических системах / Ю.Я. Лямец, Ю.В. Романов, М.В. Мартынов, П.И. Воронов // *Известия РАН. Энергетика*. – 2012. – № 5. – С. 22-29. (0,92 п.л. / 0,18 п.л.).
6. Мартынов М.В. Граничная задача релейной защиты / Ю.Я. Лямец, М.В. Мартынов // *Электричество*. – 2013. – № 10. – С. 16-22. (0,81 п.л. / 0,36 п.л.).

Публикации в других изданиях

7. Martynov M.V. Relay protection as a trained observer for power system opposite conditions / Yu.Ya. Lyametz, G.S. Nudelman, Yu.V. Romanov, M.V. Martynov, P.I. Voronov // *Current Trends of Power System Relay Protection and Automation Development*. – St. Petersburg, 2011. – С. 1-9. (1,04 п.л. / 0,29 п.л.).
8. Мартынов М.В. Теоретические основы релейной защиты: формирующиеся разделы / Ю.Я. Лямец, Г.С. Нудельман, Ю.В. Романов, П.И. Воронов, М.В. Мартынов, А.А. Белянин // *Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем России: Сборник тезисов докладов II международной конференции*. – Чебоксары, 2013. – С. 92-95. (0,46 п.л. / 0,11 п.л.).
9. Мартынов М.В. Канонические структуры многомерной релейной защиты / М.В. Мартынов, П.И. Воронов // *Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем России: Сборник тезисов докладов II международной конференции*. – Чебоксары, 2013. – С. 101-102. (0,12 п.л. / 0,07 п.л.).
10. Мартынов М.В. Иерархия параметров защищаемого объекта / Ю.Я. Лямец, М.В. Мартынов // *Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике (ИТЭЭ-2012): Материалы VIII всероссийской научно-технической конференции*. – Чебоксары, 2012. – С. 245-249. (0,23 п.л. / 0,1 п.л.).
11. Мартынов М.В. Методика обучения реле сопротивления / М.В. Мартынов, В.В. Скворцов, Н.С. Васильева // *Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике (ИТЭЭ-2012): Материалы VIII всероссийской научно-технической конференции*. – Чебоксары, 2012. – С. 259-263. (0,26 п.л. / 0,12 п.л.).
12. Мартынов М.В. Граничные задачи в теории релейной защиты / Ю.Я. Лямец, Ю.В. Романов, М.В. Мартынов, П.И. Воронов // *Труды Академии электротехнических наук Чувашской Республики*. – 2010. – № 1. – С. 16-18. (0,35 п.л. / 0,11 п.л.).

13. Мартынов М.В. Локализация наблюдаемых режимов электрической системы / Ю.Я. Лямец, М.В. Мартынов, Ю.В. Романов, П.И. Воронов // Труды Академии электротехнических наук Чувашской Республики. – 2010. – № 1. – С. 18-21. (0,35 п.л. / 0,07 п.л.).

14. Мартынов М.В. Распознавание двухфазного замыкания на землю с металлическим замыканием в отстающей фазе / Ю.Я. Лямец, Ю.В. Романов, П.И. Воронов, М.В. Мартынов // Труды Академии электротехнических наук Чувашской Республики. – 2010. – № 1. – С. 21-24. (0,35 п.л. / 0,08 п.л.).

15. Мартынов М.В. Дедуктивный метод обучения релейной защиты / Ю.Я. Лямец, М.В. Мартынов, Ю.В. Романов, П.И. Воронов // Труды Академии электротехнических наук Чувашской Республики. – 2010. – № 1. – С. 24-27. (0,35 п.л. / 0,1 п.л.).

16. Мартынов М.В. Распознающие структуры универсального фазового селектора / Ю.В. Романов, М.В. Мартынов, П.И. Воронов // Труды Академии электротехнических наук Чувашской Республики. – 2011. – № 1. – С. 18-23. (0,64 п.л. / 0,12 п.л.).

17. Мартынов М.В. Адаптивное реле сопротивления. Дробление режимов работы защищаемого объекта / М.В. Мартынов, В.В. Скворцов // Труды Академии электротехнических наук Чувашской Республики. – 2012. – № 1. – С. 29-32. (0,35 п.л. / 0,17 п.л.).

18. Мартынов М.В. Приложение сингулярного анализа к обработке зашумленных сигналов / М.В. Мартынов, П.И. Воронов // Труды Академии электротехнических наук Чувашской Республики. – 2012. – № 1. – С. 71-72. (0,23 п.л. / 0,1 п.л.).

19. Мартынов М.В. Engineering aspects of relay protection information theory / М.В. Мартынов, П.И. Воронов // Человек. Гражданин. Ученый: Сборник трудов Регионального фестиваля студентов и молодёжи Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова. – Чебоксары, 2010. – С. 74. (0,06 п.л. / 0,04 п.л.).

20. Мартынов М.В. Прикладные аспекты информационной теории релейной защиты и автоматики / М.В. Мартынов, П.И. Воронов // Человек. Гражданин. Ученый. Сборник трудов Регионального фестиваля студентов и молодёжи Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова. – Чебоксары, 2010. – С. 193-194. (0,06 п.л. / 0,03 п.л.).

21. Мартынов М.В. Эквивалентирование электрической системы / Ю.Я. Лямец, П.И. Воронов, М.В. Мартынов // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике (ИТЭЭ-2014): Материалы XI всероссийской научно-технической конференции. – Чебоксары, 2014. – С. 261-272. (0,66 п.л. / 0,41 п.л.).

Патенты

22. Мартынов М.В. Способ распознавания сложного повреждения электрической системы / Ю.Я. Лямец, С.В. Иванов, Ю.В. Романов, М.В. Мартынов // Патент РФ № 2444829, МПК H02H3/40. Оpubл. 10.03.2012, Бюл. № 7.

23. Мартынов М.В. Способ релейной защиты энергообъекта / Ю.В. Романов, М.В. Мартынов, П.И. Воронов // Патент РФ № 2461110, МПК H02H3/40. Оpubл. 10.09.2012, Бюл. № 25.

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве:

[1-4, 6] – участие в разработке основных теоретических положений и иллюстрации их на примерах; [5] – участие в разработке теоретических положений, имитационных моделей и иллюстрации положений на примерах; [7-21] – участие в разработке и проверке теоретических положений; [22, 23] – участие в создании изобретений.

МАРТЫНОВ Михаил Владимирович
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОБУЧАЕМЫХ МОДУЛЕЙ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ
ЗАЩИТ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 20.10.2014 г. Формат 60×80 1/16. Печ. л. 1,0.

Печать цветная. Тираж 100 экз. Заказ № 315

Отпечатано в типографии «Крона»
428024, Чувашия, Чебоксары, пр. Мира, д.9, офис 115