

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
энергетический университет

имени В.И. Ленина», к.т.н., доцент

И.Н. Сулыненков

2025 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» на диссертацию Абу Ршид Аисар на тему: «Обоснование структуры, параметров и алгоритмов работы дистанционной защиты электротехнических комплексов с распределенной генерацией», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы

1. Актуальность темы диссертации.

Актуальность диссертационного исследования обусловлена современными тенденциями развития систем электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса и необходимостью обеспечения возможности для потребителей электроэнергии самостоятельно изменять объем, параметры, показатели качества электроэнергии с учетом тарифов, показателей надежности, баланса возможностей энергосистемы и своих потребностей. Реализация этой концепции возможна на основе реализации принципов распределенной генерации, применения в системе электроснабжения разнотипных источников питания, включая ВИЭ и системы накопления электрической энергии. Однако, наличие разнотипных источников питания, потребителей электроэнергии с соизмеримой мощностью с источниками, большой разветвленностью распределительных сетей, может привести к некорректной работе систем релейной защиты: ложным срабатываниям, недостаточной чувствительности, неселективному действию. Дистанционные защиты, которые в основном используются для защиты линий электропередачи и иных сетевых элементов, все чаще представляются как одно из возможных решений для обеспечения безопасности и повышения эффективности функционирования распределительных систем со значительным присутствием распределенной генерации. Однако, из-за «эффекта источника питания от

распределенных генераторов», из-за которого импеданс, видимый дистанционным реле (замер дистанционного реле), превышает фактическое сопротивление прямой последовательности линии между местом повреждения и местом установки защиты, возникают сложности с настройкой и функционированием систем дистанционной защиты. Исследование посвящено анализу режимов работы дистанционной защиты электротехнических объектов (комплексов) с распределенной генерацией с обоснованием ее структуры, параметров и алгоритмов работы.

2. Научная новизна диссертации.

Научная новизна работы заключается в следующих ключевых результатах.

Во-первых, установлено влияние изменения параметров электротехнических комплексов с системой распределенной генерации на эффективность функционирования дистанционной защиты. Получены зависимости, характеризующие влияние переходного сопротивления в точке КЗ, режимов работы нагрузки, уровня генерации источников распределенной генерации на погрешность при определении точки КЗ.

Во-вторых, предложен и разработан принцип дистанционной защиты, основанный на применении искусственных нейронных сетей, позволяющий учесть изменение режимов работы электротехнических комплексов и объектов распределенной генерации.

В-третьих, разработан алгоритм действия дистанционной защиты электротехнических комплексов с использованием нейронных сетей в системе с распределенной генерацией, позволяющий обеспечить её более значительную чувствительность и селективность. Результаты исследования показали точность до 99% определения места возникновения повреждений различного вида.

3. Теоретическая и практическая значимость диссертации заключается в следующих положениях:

а) разработан алгоритм действия дистанционной защиты в электротехническом комплексе с распределенной генерацией с обеспечением требуемой чувствительности и селективности действия с помощью ИНС;

б) предложено устройство дистанционной защиты в системе с распределенной генерацией на основе нейронных сетей, позволяющее обеспечить отстроенность от нагрузочных режимов;

в) разработана структура и реализация аппаратно-программной системы защиты электротехнических комплексов в сети с распределенной генерацией на основе нейронных сетей;

г) результаты диссертации подтверждены свидетельством о государственной регистрации патента на изобретение № 2821418 «Устройство дистанционной защиты линий электропередач в сети с распределенной генерацией» от 24.06.2024 г.;

д) результаты диссертации использованы в производственной деятельности ООО «Академия «КЭТ» (акт внедрения №03-А от 12.02.2024 г.) для повышения чувствительности и селективности дистанционных защит в сетях с распределенной генерацией за счет точного определения места повреждения.

4. Достоверность научных положений и результатов диссертационного исследования.

Достоверность результатов диссертационного исследования обеспечивается:

– применением научно-методического аппарата, включающего использование стандартных методов математического анализа и компьютерного имитационного моделирования компонентов электротехнических комплексов и систем, включая системы электроснабжения и электрооборудования;

– данными экспериментальных исследований, направленных на определение влияния параметров электротехнических комплексов в системе с распределенной генерацией на эффективность действия дистанционной защиты на основе нейронных сетей.

5. Публикации по теме диссертации и апробация результатов.

Опубликованы две печатные работы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Устинов, Д.А. Оценка ветропотенциала для электроснабжения горнодобывающих предприятий в Аль-Хайджана (Сирия) / Д.А. Устинов, А.Р. Айсар // Интеллектуальная электротехника. – 2023. – № 2(22). – С. 121-134. – DOI 10.46960/2658-6754_2023_2_121. – EDN CPSBBY.

2. Устинов, Д.А. Исследование алгоритмов работы дистанционной защиты в системах распределенной генерации / Д.А. Устинов, А.Р. Айсар // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2023. – № 2(59). – С. 41-55. – DOI 10.17212/1727-2769-2023-2-41-55. – EDN VPFPVT.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus:

3. Устинов, Д.А. Разработка нового рабочего алгоритма для повышения эффективности удаленной защиты в сетях распределенной генерации / Д.А.

Устинов, А.Р. Айсар // Безопасность труда в промышленности. – 2023. – № 5. – С. 20-27. – DOI 10.24000/0409-2961-2023-5-20-27. – EDN EPDDYO.

4. Устинов, Д.А. Анализ влияния объектов распределенной генерации на системы защиты и режим напряжения: обзор / Д.А. Устинов, А.Р. Айсар // Безопасность труда в промышленности. 2023. - № 2. - С. 15–20. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-2- 15-20. – EDN: DEUMCI.

5. Ustinov Anatolevich, D. Using Artificial Neural Network Methods to Increase the Sensitivity of Distance Protection / D. Anatolevich Ustinov, A. Abou Rashid // International Journal of Engineering, Transactions B: Applications. – 2024. Vol. 37, Issue 11. – pp. 2192-2199. DOI: 10.5829/ije.2024.37.11b.06.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

6. Патент на изобретение № 2821418 Российская Федерация, МПК H02H 3/40 (2006.01). Устройство дистанционной защиты линий электропередач в сети с распределенной генерацией. Заявка № 2023131514 : заявл. 01.12.2023 : опубл. 24.06.2024 / Д.А. Устинов, А.Р. Айсар; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». - 13 с.: 1 ил.

6. Общая характеристика работы.

Диссертационная работа включает в себя введение, 4 главы, заключение, список использованной литературы из 112 наименований. Основной текст изложен на 133 страницах машинописного текста, включая 46 рисунков и 11 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы, обоснована её научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимость исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ состояния и тенденций развития релейной защиты в электротехнических комплексах с распределенной генерацией, рассмотрены научно-технические проблемы обеспечения селективности и чувствительности действия защит электротехнических комплексов в сетях с распределенной генерацией. Исходя из результатов проведенного анализа были сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе было изучено влияние распределенной генерации на селективность и чувствительность действия дистанционной защиты. Выполнен анализ алгоритмов действия дистанционной защиты в комплексах с распределенной генерацией и проведено сравнение производительности каждого из них в аварийных режимах при двух- и трехфазных замыканиях. Принято решение, что необходимо разработать алгоритмы, основанные на математических методах, для большей интеграции с изменениями параметров электрического

комплекса. Предложено применение искусственных нейронных сетей для повышения чувствительности и обеспечения селективности дистанционной защиты. Разработан алгоритм определения повреждения для распределительных систем с РГ с использованием нейронной сети.

В третьей главе проведено исследование действия защиты электротехнических комплексов на основе нейронных сетей в системе с распределенной генерацией. Разработан алгоритм функционирования многоуровневой искусственной нейронной сети. С целью проверки эффективности алгоритма защиты в условиях возникновения коротких замыканий в распределительной сети было выполнено имитационное моделирование в программном комплексе MatLab Simulink. Выполнен сбор данных для обучения и тестирования нейронной сети. Представлены результаты проведенного обучения и тестирования.

В четвертой главе выполнена оценка эффективности действия защиты электротехнических комплексов на основе нейронных сетей в системе с распределенной генерацией. Разработана структура устройства защиты электротехнических комплексов в системе с распределенной генерацией. Выполнена оценка показателей надежности защиты электротехнических комплексов на основе нейронных сетей в системе с распределенной генерацией. Выполнена оценка чувствительности действия защиты электротехнических комплексов на основе нейронных сетей в системе с распределенной генерацией. В заключении обобщены результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

Диссертационное исследование является полным и завершённым научным трудом, полученные по итогам исследования результаты являются достоверными и обоснованными.

Автором решена важная и достаточно сложная задача, подтверждающая его высокую квалификацию.

Диссертационная работа **соответствует** паспорту специальности 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы.

По п. 1. «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования» - разработана модель для исследования функционирования защиты электротехнических комплексов на основе нейронных сетей в системе с распределенной генерацией в программном комплексе MatLab Simulink.

По п. 3. «Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления» - на основе анализа статистических данных Национального центра энергетических исследований Сирийской Арабской республики о работе распределительных сетей были определены показатели надежности (SAIDI, SAIFI и пр.) и установлено, что применение нейронных сетей в составе защиты электротехнических комплексов с распределенной генерацией способствует существенному улучшению указанных показателей., после чего предложены алгоритмы дистанционных защит на основе нейронных сетей, которые являются элементом системы управления электротехническим комплексом с распределенной генерацией.

По п. 4. «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов» - в частности, произведены исследования функционирования предложенного алгоритма дистанционной защиты электротехнического комплекса с распределенной генерацией при вариациях таких факторов, как величина переходного сопротивления в месте короткого замыкания, предшествующий нагрузочный режим и пр.

Электротехнический комплекс с распределенной генерацией, равно как и предложенные алгоритмы дистанционной защиты на основе искусственной нейронной сети рассматриваются авторами как единое целое, при этом первичное оборудование является объектом управления со стороны вторичного оборудования (самого комплекса защиты).

7. Соответствие автореферата и диссертации.

Автореферат в объеме 23 страницы полностью соответствует материалам, изложенным в диссертации в объеме 133 страницы, содержит её основные положения и выводы.

8. Значение диссертации для развития науки и техники.

Диссертация Абу Ршид Айсар и её результаты направлены на решение значимой задачи в сфере электротехнических комплексов с распределенной генерацией и релейной защиты и автоматики. Результаты и выводы, полученные в диссертации, могут быть применены в рамках текущей деятельности по совершенствованию систем релейной защиты и автоматики электротехнических комплексов распределительных сетей 6-35 кВ, промышленных предприятий с собственными генерирующими установками, работающих параллельно с единой

энергетической системой России (иного государства), электрических сетей в зонах децентрализованного электроснабжения.

9. Замечания по диссертации.

Несмотря на научную и практическую ценность представленной диссертационной работы, ряд аспектов требует уточнения и дополнительного разъяснения:

1. В главе 2 разработан алгоритм определения повреждения для распределительных систем с распределенной генерацией с использованием нейронной сети. Алгоритм использует подход зонирования сети. Как определяются границы и количество этих зон?

2. В главе 3 исследовалось влияние вариации различных факторов на замеры дистанционной защиты электротехнического комплекса, а именно: предшествующего нагрузочного режима и переходного сопротивления. Какие дополнительные факторы должны быть учтены в комплексе с распределенной генерацией, из-за его уникальных свойств? Целесообразно ли исследовать влияние неточности определения параметров линий электропередачи, отклонений частоты и других факторов на замер дистанционной защиты?

3. В п. 3.2 разработана блок-схема модели электротехнического комплекса на основе нейронных сетей в системе с распределенной генерацией в программном комплексе Simulink. Какие допущения были приняты при создании этой модели?

4. В п. 4.2 выполнена оценка показателей надежности защиты электротехнических комплексов на основе нейронных сетей в системе с распределенной генерацией. Автором использованы следующие показатели надежности: SAIDI (индекс средней длительности перерывов в работе системы) SAIFI (индекс средней частоты перерывов в работе системы). Каким образом установлено, что усовершенствованный алгоритм на основе нейронных сетей позволяет снизить погрешность определения расстояния до неисправности с 9% до 1%?

5. Автором разработан алгоритм функционирования многоуровневой искусственной нейронной сети в составе дистанционной защиты с учетом получения данных о режимах работы нагрузки и источников распределенной генерации. Этот алгоритм учитывает только двух- и трехфазные короткие замыкания. Возможно ли использование данного алгоритма (или подобных ему алгоритмов) в составе электротехнического комплекса защит от однофазных замыканий на землю?

6. Из текста диссертации не ясно чему будет равно время обработки информации предлагаемым алгоритмом дистанционной защиты с использованием векторных параметров, подаваемых на вход нейронной сети? В современных условиях требования к быстродействию первой ступени дистанционной защиты

достаточно жесткие (собственное время срабатывания не должно превышать 40-60 мс), что, на наш взгляд, затруднительно обеспечить с применением предлагаемого алгоритма.

7. Целесообразно при описании достигнутых результатов более корректно использовать терминологию, принятую в релейной защите. Так ложные срабатывания, количество которых, как утверждает автор работы, уменьшает предлагаемый алгоритм, не являются предметом исследования, так как ложные срабатывания – это срабатывания защиты в режимах без коротких замыканий, а соискатель исследует аварийные режимы с короткими замыканиями и, вероятно, уменьшает количество излишних срабатываний. Аналогично не до конца понятно, каким образом производится количественная оценка селективности функционирования дистанционной защиты, которая заявлена в цели работы.

8. В диссертационной работе на стр. 78 рис. 34 даётся ссылка на работу «68. Шадрикова, Т.Ю. Разработка комплексной многофункциональной защиты от однофазных замыканий на землю кабельных сетей 6–10 кВ. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.14.02 / Шадрикова Татьяна Юрьевна. – Иваново. – 2016. – С. 20.». Однако в указанном источнике отсутствуют решения в части разработки алгоритмов устройства дистанционной защиты от междуфазных коротких замыканий.

10. Заключение.

Диссертация «Обоснование структуры, параметров и алгоритмов работы дистанционной защиты электротехнических комплексов с распределенной генерацией», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы является законченной научно-квалификационной работой.

Диссертация удовлетворяет критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёных степеней согласно постановлению Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., а также полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Абу Ршид Аисар заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

Диссертация Абу Ршид Айсар обсуждена на расширенном заседании кафедры автоматического управления электроэнергетическими системами ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ). Присутствовало на заседании 14 человек. Результаты голосования: «за» - 14 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 0 чел., протокол №2 от «12» сентября 2025 г.

Доцент кафедры автоматического управления электроэнергетическими системами ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», кандидат технических наук, доцент


12.09.2025 Яблоков Андрей Анатольевич

Заведующий кафедрой автоматического управления электроэнергетическими системами ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», кандидат технических наук, доцент


12.09.2025 Гусенков Алексей Васильевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34

(4932) 269-999, 269-933, +7 (902) 74-64-454

office@ispu.ru, avgus@ispu.ru

Подписи Яблокова Андрея Анатольевича и Гусенкова Алексея Васильевича заверяю:

Учёный секретарь ФГБОУ ВО «ИГЭУ»,

кандидат экономических наук, доцент




Юлия Вадимовна Вылгина