

ЗАЙЦЕВ

Александр Алексеевич

бакалавриат, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Россия),
alexza.99@mail.ru

КОЛЕДА

Данила Алексеевич

бакалавриат, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Россия),
da.koleda@yandex.ru

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Научный руководитель:

Попов Станислав Олегович

Статья поступила: 25.05.2023;

Принята к публикации: 28.09.2023;

Размещена в сети: 30.09.2023.

Аннотация. В статье рассмотрены основные принципы и требования к построению автоматизированных алгоритмов анализа действий комплекса релейной защиты и автоматики при аварийных происшествиях на распределительных подстанциях. Описаны основные проблемы, возникающие при анализе аварийных происшествий, а также способы применения разрабатываемой системы для их решения.

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, программно-аппаратный комплекс, база данных, комплекс РЗА, надежность, алгоритм анализа

Для цитирования: Зайцев А. А., Коледа Д. А. Разработка автоматизированной системы мониторинга и анализа функционирования релейной защиты и автоматики распределительных подстанций // StudArctic Forum. 2023. Т. 8, № 3. С. 106–112.

ведение. В системах управления энергосистемой в аварийных ситуациях могут существовать ошибки, которые проявляются только при определенных видах повреждений и при этом приводят к существенному ущербу. Для обеспечения надежности работы комплекса релейной защиты и автоматики (РЗА) на всех стадиях его существования: разработке, проектировании, пусконаладочных работах и эксплуатации проводят большое число испытаний. Однако из-за большого количества сигналов и высокой скорости протекания переходных процессов практически невозможно обеспечить полную наблюдаемость за системой без использования специальных автоматизированных систем контроля [Strasser : 63]. Целью данного исследования является разработка средств автоматизированного мониторинга и диагностики функционирования комплекса РЗА. Такие средства позволят анализировать работу комплекса РЗА, производить проверку и выявлять скрытые ошибки в системе, которые могут приводить к неправильным действиям при аварийных возмущениях, а также проводить полноценную разработку новых технических решений и их апробирование. Актуальность развития подобных систем и их внедрение в практику подтверждается концепцией энергетической стратегии РФ до 2035 года по приоритетным интеллектуальным технологиям, среди которых есть средства мониторинга и диагностики состояния оборудования в энергетических системах¹.



Рис. 1. Алгоритм автоматизированной системы мониторинга и анализа функционирования РЗА распределительных подстанций

Методология. Комплекс РЗА, представляющий собой совокупность устройств защиты высокой степени автономности, построен на различной элементной базе и имеет сложную структуру резервирования на функциональном и аппаратном уровнях. Поэтому анализ каждого возмущения включает в себя обработку большого количества данных, собираемых с отдельных устройств, и оценку их действий, проверку параметров, что обуславливает в свою очередь необходимость применения автоматизированной системы мониторинга и анализа функционирования РЗА. Для создания такой системы необходима проработка структуры диагностического комплекса и алгоритма, который мог бы обеспечить сбор и обработку информации со всех частей комплекса РЗА. Для построения комплекса необходимо реализовать: стандартизированные тестовые модели, ориентированные на испытания определенных классов устройств, полную программу испытаний, определяющих начальные условия и контрольные аварийные ситуации; средства сопряжения с реальными устройствами, таким как высокоскоростной модуль ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов, коммутационный модуль, усилители тока и напряжения, промежуточные реле [Voloshin : 3], базу данных шаблонов эталонной работы устройства при различных возмущениях для оценки работы функций диагностируемого устройства.

Структуру алгоритма (рисунок 1) можно разделить на следующие основные этапы работы: формирование базы данных аварийного происшествия, создание базы данных шаблонов эталонной работы, выполнение алгоритма первичной оценки работы РЗА и алгоритма диагностики работы комплекса РЗА.

В первую очередь для успешного выполнения экспертизы необходимо сформировать базу данных аварийного происшествия, для чего необходимо выполнить сбор информации, её предварительную обработку и сформировать структурированную базу данных аварийного происшествия. При формировании базы данных также следует обратить должное внимание на её структуру и правила хранения, минимизируя избыточность информации с учетом работы последующих программных процедур её обработки.

После фиксации аварийного отключения необходимо определить аварийную ситуацию, в том числе зону и тип повреждения. Необходимо собрать осциллограммы и журналы событий устройств, входящих в зону защиты и связанных с ними, а также состояние выключателей и других коммутационных аппаратов. Одновременно с этим для исключения на начальном этапе скрытых ошибок опрашиваются устройства, которые не должны были работать в рамках данной зоны повреждения. Технически сбор информации должен осуществляться через SCADA.

Алгоритм верификации данных (рисунок 2) определяет момент начала аварий, отключения повреждённого участка и других основных событий. Формируются дискретные события с метками времён, после чего выполняется сегментация и синхронизация осциллограмм и дискретных сигналов по основным меткам времени событий, формируется оптимальная структура базы данных с учетом ее дальнейшего применения в последующих

алгоритмах.

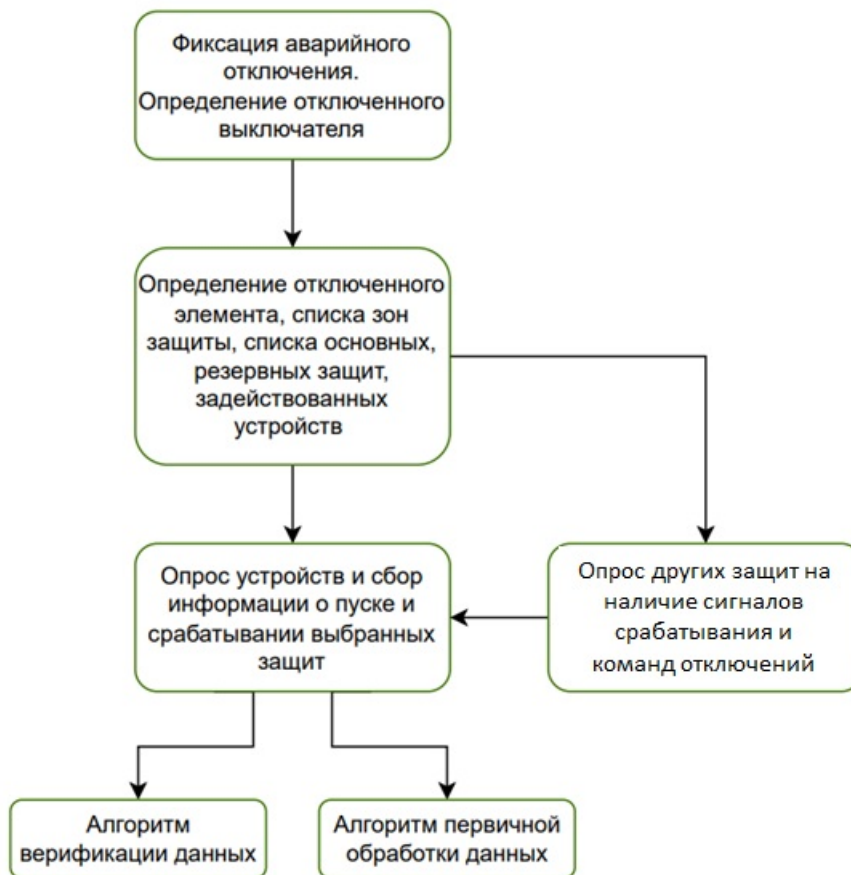


Рис. 2. Алгоритм формирования базы данных аварийного процесса

Алгоритм проверки данных (рисунок 2) аварийного происшествия выполняет проверку вполне очевидных функций: сравнение состояния входов, на которые подключены блок-контакты выключателя и фактического состояния выключателя; состояния выходного сигнала функции РЗА с входным сигналом функции реализованной в другом устройстве; сравнение приема дублированных сигналов; сравнение токов с однотипных кернов одного трансформатора тока и т. д. Результатом работы алгоритма является формирование отчета об обнаруженных неисправностях, таких как: «Ошибка в ЛВС», «Неисправность измерительных цепей», «Повреждение шин» и т. д.

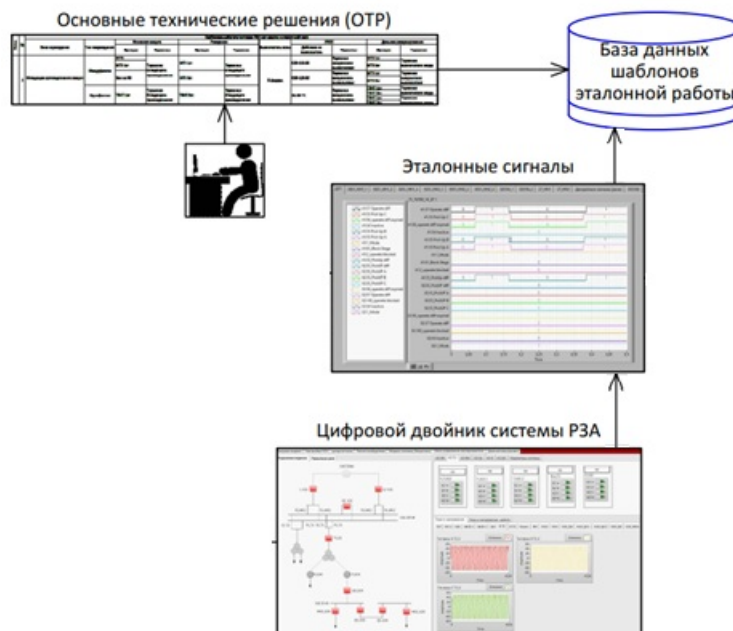


Рис. 3. Формирование базы данных шаблонов эталонной работы

Для алгоритмов оценки работы и диагностики комплекса РЗА необходимо сформировать базу данных шаблонов эталонной работы РЗА (рисунок 3), включающую общие технические решения (ОТР) – перечень функций и терминалов, который формируется при разработке проектной документации РЗА защищаемого объекта. В него входят информация о типах повреждений, зонах защит, выключателей, привязанных к этим защитам, и информация о функциях терминалов, действующих на данные выключатели. Так же с помощью цифрового двойника формируется шаблон эталонной работы комплекса РЗА в различных аварийных ситуациях. Шаблон формируется при помощи комплексного тестирования РЗА и осуществляется за счет поочерёдного воспроизведения аварийных ситуаций [Богданов : 21]. На основе базы данных проводимых испытаний в цифровом двойнике задается исходное состояние моделируемой первичной сети и комплекса РЗА, воспроизводятся соответствующие токи и напряжения, производится имитация работы РЗА в модели. К тестируемому терминалу подводятся токи и напряжения соответствующего присоединения с помощью усилителей или SV-поточков. Связь между тестируемым устройством РЗА и цифровым двойником производится с помощью протокола GOOSE или контактно-релейных схем. Сформированные тестируемым устройством сигналы записываются в базу данных результатов испытаний, после чего необходимо вернуть цифровой двойник в исходное состояние, соответствующее нормальному режиму работы первичной системы и комплекса РЗА. Далее моделируется следующее испытание. Такой шаблон содержит в себе минимальный и достаточный набор отслеживаемых дискретных сигналов для оценки работы комплекс РЗА и локализации ошибок.

После формирования базы данных аварийного происшествия начинаются основные этапы диагностики комплекса РЗА (рисунок 4). С помощью сравнения данных аварийного происшествия с таблицы ОТР формируется заключение о корректной работе системы и рекомендация к проверке функции. Возможные результаты: система работает верно, в системе ошибка – проверить основную защиту в зоне повреждения, проверить резервную защиту, проверить отказ функции.



Рис. 4. Алгоритм первичной проверки и локализации ошибки

При фиксации неправильной работы алгоритмом первичной проверки производится детализированная оценка, а также локализация ошибки, вызвавшей неправильную работу РЗА. На основе базы данных аварийного происшествия формируется набор сигналов из базы данных шаблонов эталонных сигналов работы РЗА, созданных с помощью цифрового двойника комплекса. Путем сравнения сигналов аварийного происшествия с эталонными фиксируется наличие ошибки в выбранном сегменте, локализуется функция, которая приводит к неправильной работе и формируется отчет в соответствии с принятыми шаблонами и спецификациями ошибок устройства РЗА. После этого определяется неправильно заданный параметр или неисправный элемент этой функции, приводящий к неправильной работе.

Анализ можно считать законченным, когда проявлены все причинно-следственные связи каждого события и действия системы РЗА. В итоге оформляется отчет в соответствии с принятыми шаблонами и спецификациями ошибок систем РЗА.

Результаты. За счет применения разрабатываемого программно-аппаратного комплекса был произведен ряд автоматизированных тестов терминала релейной защиты и автоматики линии электропередач типа P143 Schneider Electric. Сопряжение происходило по 5 каналам тока, 4 каналам напряжения и 40 дискретным каналам. Испытания включали в себя проверку функций защит устройства по селективности работы с другими устройствами в системе, проверку алгоритмов работы устройства, схем подключения к другим терминалам и проверку правильности заданных уставок в различных режимах работы. После успешного проведения испытаний исправного устройства в него были заложены различные ошибки, которые были обнаружены и локализованы в результате повторных испытаний. Среднее время проведения одного автоматического тестового режима составило 5 секунд, а полное автоматическое тестирование терминала занимает 30 минут, в то время как ручная проверка терминала занимает от 1 до 3 дней.

Заключение. Использование автоматизированных систем мониторинга РЗА позволит повысить надежность функционирования эксплуатируемых энергообъектов и сетей, снизить вероятности неправильной работы устройств РЗА, своевременно обнаруживать скрытые ошибки в комплексе и уменьшить вероятность возникновения ошибок в процессе работы релейного персонала. Разрабатываемый программный комплекс может быть применен для выполнения авторского надзора проектной документации разрабатываемого комплекса РЗА с помощью составления и проверки модели проекта РЗА. Оценка работы и диагностики комплекса РЗА в ходе эксплуатации может выполняться на модели, созданной на стадии проектной документации или с помощью новой созданной модели комплекса. Программный

комплекс позволит создавать оптимальные и полные протоколы пусконаладочных работ, автоматических испытаний и плановых проверок устройств РЗА. Также использование алгоритмов позволяет снизить трудозатраты на обслуживание, при этом проверка с помощью программного комплекса имеет большее количество проводимых тестов и контрольных режимов в сравнении с реализуемыми сегодня испытаниями по регламентным работам.

Примечания

¹ Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 1523-р // Правительство России [сайт]. 2020. 9 июня. URL: <http://government.ru/docs/all/128340> (дата обращения: 11.09.2023).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Богданов А.В. Современные тенденции и подходы к созданию научно-исследовательских стендов разработки и диагностики средств контроля и противоаварийного управления / А.В. Богданов, С.О. Попов, В.Н. Рябов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2017. № 10. С. 14-24.

Strasser T. Real time simulation technologies for power systems design, testing, and analysis // IEEE Power and Energy Technology Systems. 2015. Vol. 2. URL : <https://resourcecenter.ieee-pes.org/publications/pets-j-open-access-papers/PESOAP0380.html> (Accessed: 03.09.2023)

Voloshin A.A. Development of a technique for automated testing of digital protection and automatic control system of substation / A.A. Voloshin, S.M. Nukhulov // 5th International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation (RPA). 2022. P. 1-19. DOI:[10.1109/RPA57581.2022.9951128](https://doi.org/10.1109/RPA57581.2022.9951128) (Accessed: 03.09.2023)

Aleksandr A. ZAITSEV

bachelor's degree, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Saint Petersburg, Russia),
alexza.99@mail.ru

Danila A. KOLEDA

bachelor's degree, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Saint Petersburg, Russia),
da.koleda@yandex.ru

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING AND ANALYZING THE FUNCTIONING OF RELAY PROTECTION AND AUTOMATION OF DISTRIBUTION SUBSTATIONS

Scientific adviser:

Stanislav O. Popov

Paper submitted on: 05/25/2023;

Accepted on: 09/28/2023;

Published online on: 09/30/2023.

Abstract. The article discusses the basic principles and requirements for the construction of automated algorithms for analyzing the actions of the relay protection and automation complex in case of accidents at distribution substations. The paper describes main problems arising in the analysis of such accidents and ways of using the system being developed to solve them.

Keywords: relay protection and automation, hardware and software complex, database, RPA complex, reliability, analysis algorithm

For citation: Koleda, D. A. Development of an Automated System for Monitoring and Analyzing the Functioning of Relay Protection and Automation of Distribution Substations. *StudArctic Forum*. 2023, 8 (3): 106–112.

REFERENCES

Bogdanov A.V., Popov S.O., Ryabov V.N. Modern tendencies and approaches to the creation of research stands for the development and diagnostics of the control and emergency control equipment. *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiya i remont*, 2017, No. 10, pp. 14-24. (In Russ.)

Strasser T. Real time simulation technologies for power systems design, testing, and analysis. *IEEE Power and Energy Technology Systems*, 2015, Vol. 2. URL : <https://resourcecenter.ieee-pes.org/publications/pets-j-open-access-papers/PESOAP0380.html> (Accessed: 03.09.2023)

Voloshin A.A., Nukhulov S.M. Development of a technique for automated testing of digital protection and automatic control system of substation. *5th International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation (RPA)*, 2022, pp. 1-19. DOI:[10.1109/RPA57581.2022.9951128](https://doi.org/10.1109/RPA57581.2022.9951128) (Accessed: 03.09.2023)