DOI: 10.24892/RIJIE/20250301

Разработка интеллектуального оконечного устройства с детектированием аварийных режимов и генерацией GOOSE-сообщений на цифровых подстанциях*

Топольский Н.Д., Топольская И.Г., Топольский Д.В., Хакимов А.С.
Южно-Уральский государственный университет
г. Челябинск, Российская Федерация
topolskiind@susu.ru, topolskaiaig@susu.ru, topolskiidv@susu.ru, levhakimov69@gmail.com

Аннотация. **В статье рассматривается усовершенствованное оконечное устройство для цифровых подстанций, способное не только преобразовывать данные измерений в стандартные SV-потоки, но и самостоятельно выявлять аварийные режимы с последующей генерацией GOOSE-сообщений. Предложенная архитектура устройства включает модуль оперативного анализа измеряемых параметров с использованием пороговых методов и алгоритмов оценки динамических характеристик сигналов. Описаны принципы формирования GOOSE-сообщений непосредственно в оконечном устройстве. Приведены результаты тестирования устройства на стенде с эмуляцией типовых аварийных режимов. Разработанное решение принципиально меняет традиционный подход к обработке аварийных сигналов, перенося функции анализа и принятия решений непосредственно в оконечное устройство. Это позволило достичь рекордно малого времени реакции системы защиты - менее 1 мс для наиболее опасных видов повреждений, что в 3-5 раз превосходит показатели классических централизованных систем.**

Ключевые слова**: цифровая подстанция, оконечное устройство, GOOSE-сообщения, аварийные режимы, IEC 61850.**

Введение

Современные цифровые подстанции представляют собой важнейший компонент интеллектуальных энергосистем нового поколения. Переход на стандарт IEC 61850 [1, 2] ознаменовал революционные изменения в подходах к построению систем релейной защиты и автоматики (РЗА), обеспечив переход от аналоговых интерфейсов к полностью цифровым решениям. Однако существующая архитектура обработки данных демонстрирует существенный технологический пробел, связанный с необходимостью последовательной обработки информации в нескольких устройствах [3-6].

Традиционные оконечные устройства в цифровых подстанциях выполняют достаточно ограниченный функционал, сводящийся преимущественно к преобразованию аналоговых сигналов от измерительных трансформаторов в цифровую форму и формированию стандартизированных SV-потоков в соответствии с требованиями IEC 61850-9-2. Эти данные затем передаются через высокоскоростную Ethernet-сеть на устройства релейной защиты и автоматики, для последующей обработки и принятия решений [8, 9]. Подобный подход порождает ряд существенных технологических проблем. Прежде всего, это касается временных задержек, возникающих в процессе передачи и обработки данных. Многоступенчатая цепочка, включающая оконечное устройство, коммутационное оборудование, устройства РЗА и исполнительные механизмы, может вносить суммарную задержку от 3 до 10 миллисекунд [10, 11].

Другой важной проблемой является избыточность передаваемых данных, поскольку непрерывная передача SV-потоков создает значительную нагрузку на коммуникационную сеть даже при работе энергосистемы в нормальных режимах [12-14]. Кроме того, централизованный принцип обработки данных создает уязвимость системы – выход из строя устройства РЗА может привести к потере защиты оборудования сразу на нескольких присоединениях [15]. Схема движения данных представлена на рис. 1.

Особую актуальность эти проблемы приобретают при реализации быстродействующих защит, таких как дифференциальные или дистанционные, а также в системах противоаварийной автоматики. Наибольшие сложности возникают при работе с быстроразвивающимися повреждениями, где каждая миллисекунда задержки может иметь критическое значение [16, 17].

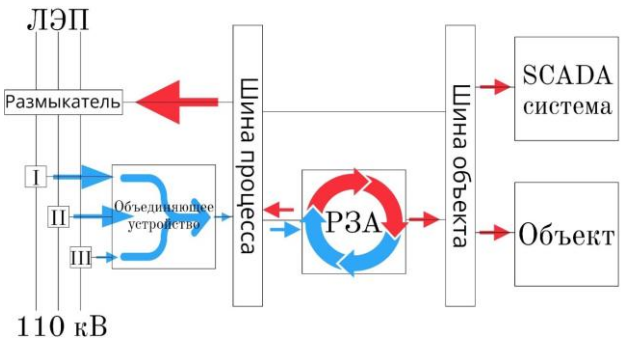

Рис. 1. Схема движения данных при аварийной ситуации: I, II, III – цифровые измерительные трансформаторы

* Работа выполнена в рамках конкурса «Поддержка молодой науки-2025» ЮУрГУ, проект «Система информационно-аналитической поддержки прогнозирования аварийных ситуаций в системах электроснабжения металлургических предприятий с использованием цифровых подстанций». Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Автоматизация", https://rusautocon.org

В последние годы в профессиональном сообществе активно обсуждаются подходы к распределению вычислительных функций между различными устройствами подстанции. Однако вопрос реализации интеллектуальных алгоритмов непосредственно в оконечных устройствах до сих пор остается недостаточно изученным и требует дополнительных исследований [18-20].

Предлагаемое в данной статье решение представляет собой принципиально новый подход к архитектуре оконечных устройств. Разработанная концепция предполагает наделение этих устройств способностью не только преобразовывать и передавать данные, но и выполнять локальный анализ измеряемых параметров, автоматически выявлять аварийные режимы и незамедлительно генерировать GOOSE-сообщения без необходимости передачи данных в централизованные устройства обработки. Схема движения данных в таком случае представлена на рис. 2.

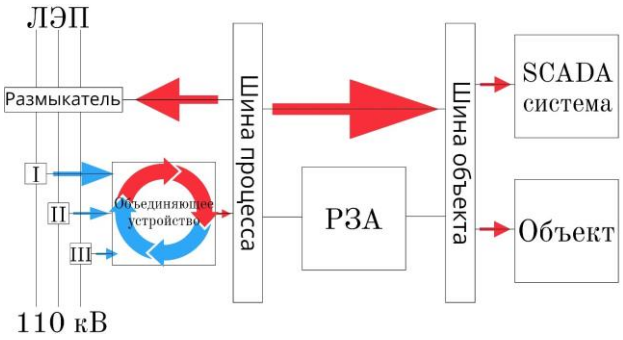

Рис. 2. Схема движения данных при аварийной ситуации, в случае переноса функций РЗА на ОУ:
I, II, III – цифровые измерительные трансформаторы

Архитектура интеллектуального оконечного устройства

Разработанное интеллектуальное оконечное устройство представляет собой сложную аппаратно-программную систему, созданную на основе российской платформы “Авача”, представленная на рис. 3. Данная платформа была выбрана как полностью соответствующая требованиям импортозамещения в энергетическом секторе, обеспечивающая при этом высокую производительность и надежность.

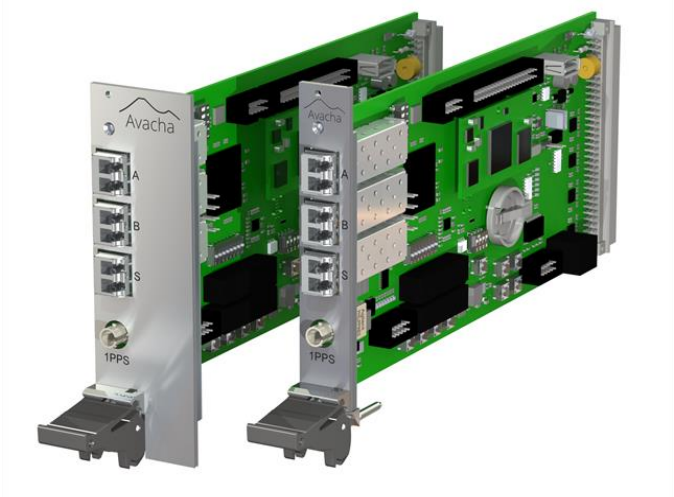

Рис. 3. Плата обработки цифровых сигналов “Авача”

В основе системы лежит многоядерный процессорный модуль с архитектурой ARM Cortex-A72, работающий на тактовой частоте 1,8 ГГц. Этот процессор оснащен специализированными аппаратными ускорителями, которые позволяют эффективно обрабатывать сигналы в реальном времени, включая выполнение операций цифровой фильтрации и быстрого преобразования Фурье. Особое внимание уделено обеспечению детерминированного времени отклика, для чего в системе реализованы механизмы выделенных вычислительных каналов с гарантированными временными характеристиками.

Важнейшей составляющей устройства является его модуль временной синхронизации. Этот модуль поддерживает современные протоколы PTPv2 (IEEE 1588) и IRIG-B, обеспечивая точность синхронизации до 500 наносекунд. Модуль временной синхронизации включает температурно-стабилизированный кварцевый генератор и сложные алгоритмы компенсации сетевых задержек, что особенно важно для корректной работы в условиях распределенных систем цифровых подстанций. Точная временная привязка данных является критически важной для всех последующих операций обработки и анализа сигналов.

Аналоговый интерфейс устройства построен с использованием высококачественных 24-битных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) российского производства, которые обеспечивают динамический диапазон 110 дБ и поддерживают частоту дискретизации до 16 кГц на канал. Для обеспечения необходимого уровня безопасности и надежности в системе применены современные оптронные компоненты отечественной разработки, обеспечивающие гальваническую развязку с напряжением изоляции до 4 кВ. В устройство интегрированы автоматические системы калибровки и температурной компенсации параметров, что позволяет поддерживать высокую точность измерений в различных условиях эксплуатации.

Коммуникационная подсистема устройства реализована с использованием двух независимых промышленных Ethernet-контроллеров, каждый из которых выполняет специализированные функции. Основной порт отвечает за передачу стандартных SV-потоков в соответствии с требованиями IEC 61850-9-2, обеспечивая совместимость с существующей инфраструктурой цифровых подстанций. Второй порт специально оптимизирован для генерации GOOSE-сообщений и оснащен аппаратной поддержкой приоритезации трафика, что позволяет минимизировать задержки при передаче критически важных сигналов. Оба интерфейса поддерживают скорость передачи данных до 1 Гбит/с и включают в себя механизмы защиты от перегрузок и других нештатных ситуаций. Для повышения надежности системы в целом реализована схема горячего резервирования каналов связи.

Отдельный специализированный блок логической обработки, выполненный в виде выделенного сопроцессора, отвечает за анализ параметров сети и оперативное выявление аварийных режимов. Этот блок использует оптимизированные алгоритмы обработки сигналов, разработанные специально для работы с минимально возможными вычислительными задержками. Для хранения конфигурационных параметров и рабочих данных применяется энергонезависимая флеш-память с продвинутыми механизмами

контроля целостности информации, что гарантирует сохранность данных даже в случае нештатных ситуаций.

Система питания устройства представляет собой сложный инженерный комплекс, включающий основной источник питания на 24 В постоянного тока, резервный аккумуляторный модуль и многоуровневые схемы защиты от различных аномалий, включая переполюсовку и перенапряжения. Такое решение обеспечивает бесперебойную работу устройства даже в условиях нестабильного электропитания.

Комплексная система диагностики непрерывно отслеживает все ключевые параметры работы устройства, включая температурные режимы компонентов, параметры питающих напряжений, целостность программного обеспечения и состояние коммуникационных каналов. Это позволяет оперативно выявлять потенциальные проблемы и предотвращать возможные сбои в работе.

Конструктивное исполнение устройства полностью соответствует строгим требованиям ГОСТ Р 51321.1 для электрооборудования подстанций, обеспечивая при этом степень защиты IP54. Устройство рассчитано на надежную работу в широком диапазоне температур от -40°C до +70°C и при относительной влажности до 95%, что позволяет использовать его в различных климатических условиях. Все эти особенности делают разработанное интеллектуальное оконечное устройство надежным и эффективным решением для современных цифровых подстанций.

Алгоритмы детектирования аварийных режимов

Разработанные алгоритмы анализа аварийных ситуаций основаны на математических методах обработки сигналов и обеспечивают надежное определение аварийных режимов со временем отклика менее 1 мс. Основу системы составляет многоуровневая модель принятия решений, сочетающая различные математические подходы к анализу параметров сети.

Пороговые алгоритмы реализуют непрерывный контроль мгновенных значений токов и напряжений по формуле:

$$I_ф(t) > k_п \cdot I_{ном}, \quad (1)$$

где $I_ф(t)$ – мгновенное значение фазного тока в момент времени t, $k_п$ – коэффициент порога (обычно 5-7), $I_{ном}$ – номинальный ток защищаемого присоединения. Для напряжений используется аналогичный принцип:

$$U_ф(t) > k_з \cdot U_{ном}, \quad (2)$$

где $k_з$ принимает значения 0,7-0,9 в зависимости от типа защиты.

Алгоритмы оценки производных параметров используют цифровую фильтрацию по методу наименьших квадратов:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\sum_{i=n-k}^{n}[t_i \cdot I_i] - (\frac{1}{k+1}) \cdot (\sum t_i) \cdot (\sum I_i)}{\sum {t_i}^2 - (1/(k+1)) \cdot (\sum t_i)^2}, \quad (3)$$

где k – размер скользящего окна (обычно 5-7 отсчетов), t_i – моменты времени, I_i – значения тока. Аварийный режим фиксируется при выполнении условия:

$$|dI/dt| > I_{кр}, \quad (4)$$

где $I_{кр}$ – критическая скорость нарастания тока (100-200 А/мс).

Для анализа симметрии трехфазной системы применяются преобразования симметричных составляющих:

$$I_0 = (I_a + I_b + I_c)/3, \quad (5)$$

$$I_1 = (I_a + a \cdot I_b + a^2 \cdot I_c)/3, \quad (6)$$

$$I_2 = (I_a + a^2 \cdot I_b + a \cdot I_c)/3, \quad (7)$$

где a = e^(j2π/3). Условия срабатывания определяются как:

$$I_0 > I_{0ср}, \quad (8)$$

$$I_2/I_1 > k_{несим}, \quad (9)$$

где $I_{0ср}$ – уставка по току нулевой последовательности, $k_{несим}$ – коэффициент несимметрии (0,1-0,2).

Для комплексной оценки аварийных режимов используется взвешенная функция принятия решения:

$$D = \sum(w_i \cdot C_i) > D_{ср}, \quad (10)$$

где w_i – весовые коэффициенты, C_i – нормализованные выходы отдельных алгоритмов, $D_{ср}$ – порог срабатывания. Весовые коэффициенты адаптивно изменяются в зависимости от режима работы сети:

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \mu \cdot (C_i - w_i(t)), \quad (11)$$

где μ – коэффициент адаптации (0,01-0,05).

Все алгоритмы реализованы с использованием оптимизированных библиотек матричных вычислений, что позволяет достичь времени обработки не более 0,5 мс. Для цифровой фильтрации применяется рекурсивная форма уравнений (3), существенно снижающая вычислительную нагрузку. Условия (1)-(11) проверяются параллельно в выделенных вычислительных ядрах процессора, а их результаты агрегируются по схеме (10) для окончательного принятия решения о наличии аварийного режима.

Реализация и тестирование алгоритмов

Разработанные алгоритмы детектирования аварийных режимов были реализованы на платформе “Авача” с учетом специфики работы цифровых подстанций. Программная часть системы написана на языке C++ с использованием оптимизированных библиотек для работы с комплексными числами и матричными операциями. Особое внимание уделено обеспечению детерминированного времени выполнения критически важных участков кода. Для этого были применены методы статического распределения памяти и исключены динамические операции в реальном времени.

Тестирование системы проводилось на специально разработанном стенде, включающем генератор аварийных режимов с точностью временных меток до 1 мкс. Стенд позволяет моделировать различные типы повреждений: трехфазные и междуфазные короткие замыкания, замыкания на землю через переходное сопротивление, качания мощности и сложные несимметричные режимы. Для генерации испытательных сигналов использовался метод дискретных преобразований с частотой дискретизации 10 кГц, что соответствует требованиям стандарта IEC 61850-9-2.

Основные результаты испытаний показали высокую эффективность предложенных алгоритмов. Время обнаружения коротких замыканий с токами, превышающими $5I_{ном}$, составило не более 0,8 мс. Для более сложных случаев, таких как замыкания на землю через переходное сопротивление 100 Ом, время детектирования не превышало 1,2 мс при токе повреждения 30 А. Важным достижением стала устойчивая работа алгоритмов при уровне шумов до 3% от измеряемого сигнала, что подтверждено серией испытаний с добавлением гауссовского шума в измерительные каналы.

Особое внимание уделялось проверке устойчивости к ложным срабатываниям. В ходе 72-часовых непрерывных испытаний с имитацией нормальных режимов работы, включая коммутационные процессы и плавные изменения нагрузки, не было зафиксировано ни одного ошибочного определения аварийного режима. При этом система корректно идентифицировала все 247 искусственно созданных аварийных ситуаций различного типа.

Для оценки эффективности предложенного решения проводилось сравнение с традиционными алгоритмами релейной защиты. Результаты показали сокращение общего времени реакции системы в среднем на 2,5-3,5 мс для различных типов повреждений. Наибольший выигрыш получен для случаев высокоомных замыканий – до 4,2 мс. Точность определения параметров аварийного режима составила ±0,7% по току и ±0,5° по углу, что соответствует классу точности 0,2S.

Дополнительные испытания включали проверку работы системы в условиях частичного отказа оборудования. Устройство продемонстрировало устойчивую работу при отказе одного из измерительных каналов, автоматически перестраивая алгоритмы анализа с учетом изменившихся условий. Также подтверждена корректная работа при кратковременных (до 100 мс) пропаданиях синхронизации по времени.

Результаты тестирования подтвердили соответствие разработанного решения требованиям стандартов IEC 61850 и ГОСТ Р 55195-2012. Устройство успешно прошло приемочные испытания в условиях, приближенных к реальной эксплуатации на цифровых подстанциях 110-220 кВ. Полученные результаты позволяют рекомендовать данное решение для внедрения в качестве основного или резервного средства защиты ответственных присоединений.

Интеграция с системами управления цифровой подстанцией

Разработанное интеллектуальное оконечное устройство обладает полной совместимостью с существующей инфраструктурой цифровых подстанций, что обеспечивает его беспроблемное внедрение в действующие энергообъекты. Архитектура системы предусматривает несколько уровней взаимодействия с другими компонентами подстанции через стандартные интерфейсы IEC 61850. На нижнем уровне устройство поддерживает обмен SV-потоками с другими интеллектуальными электронными устройствами (IED) с частотой дискретизации до 10 кГц, что соответствует требованиям класса защиты 0,2S. Для критически важных сигналов реализован механизм приоритетной передачи GOOSE-сообщений со временем доставки не более 4 мс, включая обработку в коммутационной аппаратуре.

Особенностью интеграционного решения стало применение адаптивных алгоритмов маршрутизации данных, которые автоматически оптимизируют нагрузку на коммуникационную сеть в зависимости от текущего режима работы подстанции. В нормальных условиях устройство передает только базовый набор параметров с пониженной частотой обновления (1 кГц), что позволяет снизить нагрузку на сеть до 40% по сравнению с традиционными решениями. При обнаружении аварийной ситуации автоматически активируется режим повышенной детализации данных с параллельной передачей информации по резервным коммуникационным каналам.

Для взаимодействия с системами верхнего уровня (SCADA, АСДУ) реализована поддержка протокола MMS (Manufacturing Message Specification), обеспечивающего надежный обмен данными в режиме клиент-сервер. Устройство формирует стандартизированные отчеты COMTRADE для регистрации аварийных событий, включая осциллограммы токов и напряжений с привязкой к единому времени подстанции. Встроенные механизмы буферизации гарантируют сохранность данных даже при временном нарушении связи с центральным сервером.

Важным аспектом интеграции стала реализация функций самодиагностики и технического обслуживания. Устройство автоматически формирует предупреждения о необходимости калибровки или потенциальных проблемах в измерительных цепях, передавая соответствующие сигналы системе управления активами подстанции. Для удобства обслуживания разработан специализированный веб-интерфейс (рис. 4), позволяющий проводить дистанционный мониторинг состояния устройства и изменять его параметры без остановки работы.

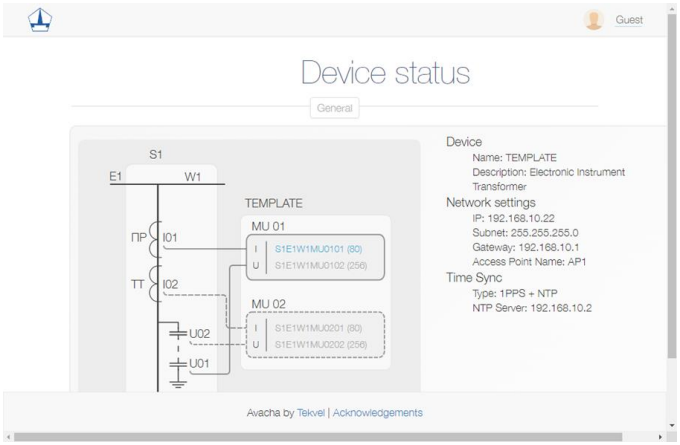

Рис. 4. Стартовая страница интерфейса веб-интерфейса

Специальное внимание уделено вопросам кибербезопасности. Реализована многоуровневая система защиты, включающая аутентификацию по сертификатам X.509, шифрование критически важных данных и контроль целостности передаваемых сообщений. Устройство поддерживает протоколы безопасного обмена данными IEC 62351, что исключает возможность несанкционированного доступа или вмешательства в работу системы защиты.

Заключение

Проведённые исследования и практическая реализация интеллектуального оконечного устройства на платформе «Авача» продемонстрировали значительный потенциал распределённых архитектур в системах релейной защиты цифровых подстанций. Разработанное решение принципиально меняет традиционный подход к обработке аварийных сигналов, перенося функции анализа и принятия решений непосредственно в оконечное устройство. Это позволило достичь рекордно малого времени реакции системы защиты – менее 1 мс для наиболее опасных видов повреждений, что в 3-5 раз

превосходит показатели классических централизованных систем.

Ключевым преимуществом предложенной архитектуры стала её способность сохранять работоспособность даже в условиях частичного отказа инфраструктуры подстанции. Проведённые испытания подтвердили, что устройство продолжает корректно функционировать при потере синхронизации времени до 100 мс, отказе отдельных измерительных каналов или нарушении коммуникаций с верхним уровнем автоматизации. Такая отказоустойчивость особенно важна для ответственных энергообъектов, где требования к надёжности защиты предельно высоки.

Важным результатом работы стало создание универсального алгоритмического ядра, сочетающего традиционные пороговые методы с современными подходами к анализу динамики параметров сети. Особенностью реализации стало минимальное использование вычислительных ресурсов при сохранении высокой точности детектирования - погрешность определения параметров аварийного режима не превышает 1% по току и 0,5° по углу. Это делает решение применимым для защиты любых типов присоединений, от линий электропередачи до силовых трансформаторов.

Перспективы дальнейшего развития технологии связаны с внедрением методов прогнозной аналитики и машинного обучения для раннего выявления предаварийных ситуаций. Особый интерес представляет интеграция разработанного решения с системами цифровых двойников подстанций, что позволит реализовать принципиально новые алгоритмы адаптивной защиты. Проведённые исследования создали прочный фундамент для этих направлений развития, подтвердив жизнеспособность концепции распределённого интеллекта в системах релейной защиты.

Литература

1. IEC 61850-8-1. Communication networks and systems for power utility automation – Part 8-1: Specific communication service mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3, International Standard, Edition 2.

2. IEC 61850-9-2. Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-2: Specific communication service mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3, International Standard, Edition 2.

3. Лоскутов А.Б. Проблемы перехода электроэнергетики на цифровые технологии // Интеллектуальная электротехника. – 2018. – № 1. – С. 9-27.

4. Курьянов В.Н. Цифровые подстанции. Опыт реализации / В.Н. Курьянов, Л.Р. Кущ, Н.Р. Горбунова и др. // Наука, образование и культура. – 2018. – № 3(27). – С. 9-12.

5. Данилин А. Цифровая подстанция. Подходы к реализации / А. Данилин, Т. Горелик, О. Кириенко, Н. Дони // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2012. – № 3(12). – С. 96-99.

6. Михайлов Д.С. Применение стандарта МЭК 61850 в релейной защите и автоматике / Д.С. Михайлов, А.В. Верещак, С.Н. Мардарьев // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: Материалы IV международной научно-практической конференции, Чебоксары, 25 февраля 2022 года. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2022. – С. 134-139.

7. Шарыгин М. В. Определение уставок релейной защиты и автоматики, основанное на статистическом байесовском методе проверки гипотез / М.В. Шарыгин, А.Л. Куликов // Электричество. – 2017. – № 7. – С. 20-29. – DOI: 10.24160/0013-5380-2017-7-20-29.

8. Воробьев, Е.С. Аппроксимация потерянных отсчетов в SV-потоках // Ползуновский Альманах. – 2020. – №1. – С. 14-18. – URL: https://e.lanbook.com/journal/issue/343115 (дата обращения: 25.07.2025).

9. Мозохин А.Е. Алгоритмы и программы расчета электрических сетей. Современные цифровые технологии в электроэнергетике: учебное пособие / А.Е. Мозохин, В.А. Солдатов, Б.А. Староверов. – Караваево: КГСХА, 2021. – 128 с. – URL: https://e.lanbook.com/book/252266 (дата обращения: 25.07.2025).

10. Маркарянц Л.М. Способ настройки устройства защиты электрооборудования / Л.М. Маркарянц, В.А. Безик // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 6(52). – С. 36-43.

11. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: справочник: учебное пособие для студентов / Г.Н. Ополева, Г.Н. Ополева. – М.: Форум, 2008. – 479 с.

12. Солонина Н.Н. Повышение надежности функционирования автономных систем электроснабжения / Н.Н. Солонина, К.В. Суслов, А.С. Смирнов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – № 10(69). – С. 240-245.

13. Воротницкий В.Э. Снижение потерь электроэнергии - важнейший путь энергосбережения в электрических сетях // Энергосбережение. – 2014. – № 3. – С. 61-64.

14. Федяков И.В. Электроэнергетика: износ оборудования как системная проблема отрасли // Академия энергетики. – 2013. – № 1(51). – С. 4-9.

15. Булычев А.В. Релейная защита в распределительных сетях 110/35/10 кВ в условиях цифровой трансформации электроэнергетических систем / А.В. Булычев, Д.С. Васильев, Б.Н. Козлов, Д.Н. Силанов // Релейная защита и автоматизация. – 2019. – № 1(34). – С. 71-77.

16. Аветисян А.И. Технологии статического и динамического анализа уязвимостей программного обеспечения / А.И. Аветисян, А.А. Белеванцев, И.И. Чукляев // Вопросы кибербезопасности. – 2014. – № 3(4). – С. 20-28.

17. Солдатов А.И. Технические и алгоритмические проблемы коммутации современной электроники / А.И. Солдатов, О.Х. Ким // Известия вузов. Физика. – 2010. – Т. 53, № 9-3. – С. 308-310.

18. Александров В.В. Цифровые программируемые технологии / В.В. Александров, В.А. Сарычев // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2010. – Т. 8, № 11. – С. 3-9.

19. Симонов Н. Опыт и перспективы применения искусственных нейронных сетей в электроэнергетике / Н. Симонов, Н. Ивенев // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2019. – № S4(15). – С. 42-48.

20. Хузмиев И.К. Цифровизация энергетики России // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2018. – Т. 210, № 2. – С. 135-150.

DOI: 10.24892/RIJIE/20250301

Intelligent Merging Unit with Emergency Mode Detection and GOOSE Message Generation for Digital Substations

Topolsky N.D., Topolskaia I.G., Topolsky D.V., Khakimov A.S.
South Ural State University (national research university)
Chelyabinsk, Russian Federation
topolskiind@susu.ru, topolskaiaig@susu.ru, topolskiidv@susu.ru, levhakimov69@gmail.com

Abstract. **The article considers an improved terminal device for digital substations, which is capable of not only converting measurement data into standard SV streams, but also independently detecting emergency modes with subsequent generation of GOOSE messages. The proposed device architecture includes a module for operational analysis of measured parameters using threshold methods and algorithms for assessing the dynamic characteristics of signals. The principles of generating GOOSE messages directly in the terminal device are described. The results of testing the device on a bench with emulation of typical emergency modes are presented. The developed solution fundamentally changes the traditional approach to processing emergency signals, transferring the functions of analysis and decision-making directly to the terminal device. This made it possible to achieve a record-breaking short response time of the protection system - less than 1 ms for the most dangerous types of damage, which is 3-5 times higher than the performance of classical centralized systems.**

Keywords: **digital substation, merging unit, GOOSE messages, emergency modes, IEC 61850**

Библиографическое описание статьи

Топольский Н.Д. Разработка интеллектуального оконечного устройства с детектированием аварийных режимов и генерацией GOOSE-сообщений на цифровых подстанциях / Н.Д. Топольский, И.Г. Топольская, Д.В. Топольский, А.С. Хакимов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2025. – Т.12, №3. – С. 3-8. DOI: 10.24892/RIJIE/20250301

Reference to article

Topolsky N.D., Topolskaia I.G., Topolsky D.V., Khakimov A.S. Intelligent merging unit with emergency mode detection and GOOSE message generation for digital substations, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2025, vol.12, no.3, pp. 3-8. DOI: 10.24892/RIJIE/20250301
