

**Министерство образования Республики Беларусь**

Учреждение образования  
**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

УДК 621.398

Савченко  
Павел Викторович

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОПОДСТАНЦИЯ

АВТОРЕФЕРАТ  
на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1 53 80 01

---

Научный Руководитель  
Сорока Н.И.  
Кандидат технических наук, доцент

---

Минск 2015

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Электростанция выполняет функции контроля и мониторинга систем коммутации, защиты электрооборудования, учёта электроэнергии, автоматизации управления оборудованием и системами аварийной защиты. Традиционная подстанция состоит из коммутационной логики, распределённых телеметрических узлов, релейных блоков, электрических коммутаторов и преобразователей напряжения. Все компоненты связаны между собой медными кабелями. Структура современной автоматизированной подстанции состоит из четырех уровней. Верхний уровень (уровень станции) является контролирующим, оборудование на данном уровне изолировано от других систем в экранированном помещении. Оборудование уровня станции включает в себя панель оператора, главную и резервную рабочие станции, GPS-приёмник и др. Средний (контрольный) уровень обеспечивает функции управления конкретной секцией оборудования, расположенной рядом с коммутационным оборудованием. Оборудование контрольного уровня состоит из так называемых интеллектуальных средств защиты и управления автоматическими выключателями, преобразователями, банками конденсаторов. Оборудование этих двух уровней считается вторичным. Нижний (исполнительный) уровень обеспечивает взаимодействие систем автоматики с коммутационным оборудованием подстанции. К полевого оборудованию этого уровня относятся И полевой уровень – уровень источников сигналов, собираемых и обрабатываемых системой, преобразователи напряжения, оборудование распределённого ввода/вывода, приводы, защитная автоматика и пр.

Система передачи данных на автоматизированной подстанции относится к критически важным системам, обеспечивающим функционирование подстанции в реальном времени. Сеть передачи данных связывает всё вторичное оборудование на подстанции. На традиционных подстанциях передача данных обеспечивается в основном последовательными интерфейсами в одностороннем порядке. Различные узкоспециализированные протоколы последовательного обмена осуществляют связь с локальными панелями оператора и SCADA-системами. Современные автоматизированные подстанции базируются на сквозной сети передачи данных, связывающей оборудование исполнительного, контрольного уровней и уровня станции. По сети передаются команды управления, отчёты, статистика и пр.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы.** В настоящее время большое внимание уделяется разработке комплексной системе генерации, передачи и распределения электроэнергии. Основными структурными частями этой системы являются тепловые электростанции и подстанции. Управление технологическими и другими процессами осуществляют автоматизированные системы сбора, обработки и отображения информации о состоянии и режимах работы электрооборудования. К сожалению на многих подстанциях применяются системы, которые морально устарели и не могут быть интегрированы в современные автоматизированные системы.

**Целью диссертационной работы** является разработка современной системы сбора и диспетчерского управления электроподстанции.

### **КРАТКОЕ СОЖЕРЖАНИЕ**

Диссертация состоит из трех глав. В первом разделе главы один проанализированы требования предъявляемые к автоматизированным подстанциям. По внешнему воздействию выбраны устройства удовлетворяющие классу 2. Для класса 2 какие-либо сбои или ошибки, вызванные электромагнитными воздействиями, недопустимы. По климатическим условиям выбраны устройства С-класса для открытых помещений с крышей. Для резервирования основного питания используются источники бесперебойного питания (ИБП), заряжающиеся при нормальном режиме работы и включающиеся для питания в аварийном режиме. На выходе ИБП напряжение должно быть аналогичным основному. По механическим воздействиям выбраны устройства, соответствующие классу Вм — нормальные условия установки, свойственные производственным помещениям, генерирующим и распределительным электростанциям и другим подобным помещениям с низкими уровнями вибрационных и ударных нагрузок. Объекты энергетики — те же подстанции в зависимости от географических особенностей местности располагаются на различных высотах. Стандарт IEC 61850-3 определяет рабочую зону от 400 до 3000 м относительно уровня моря. Это соответствует атмосферному давлению от 106 до 70 кПа. Отталкиваясь от требований топологии, в качестве архитектур, в наибольшей степени соответствующих решению задач электро-распределения и обеспечивающих безотказное соединение, можно выделить дублированное кольцо, дублированную звезду и звезду в кольце. Из требований безопасности принято разделять доступ к сети на несколько уровней, начиная с нижнего

полевого и заканчивая верхним уровнем мониторинга и управления объектом в целом. Данную функцию реализуют управляемые маршрутизаторы и сетевые экраны. Все устройства и процессы в сети электрической подстанции должны быть легко контролируемы. Процессы, протекающие в системах электрической подстанции, требуют отслеживания, управления и аварийной защиты в режиме реального времени. Неотъемлемым условием предотвращения транспортных коллизий пакетов данных и корректного ведения журнала событий является синхронизация времени на всех устройствах в составе сети. В решении этих задач может помочь целый ряд протоколов. Коммуникационная сеть подстанции относится к критически важным системам. Система в целом должна быть устойчива к единичным сбоям. Смысл резервирования каналов как раз и состоит в предотвращении появления каналов или узлов, единичный отказ которых приведёт к остановке системы. При отказе узла или канала связи система должна автоматически восстанавливаться в установленное (обычно очень короткое) время. При этом должен задействоваться один из резервных маршрутов доставки данных от отправителя к получателю.

Во втором разделе главы один рассмотрена структура традиционной автоматизированной подстанции ТМ-511 и ТМ-512. До настоящего времени в автоматизированных системах диспетчерского управления (АСДУ) энергосистем и энерго-объединениями используются системы ТМ-511 и ТМ-512. Системы ТМ-511 и ТМ-512 используются в автоматизированных системах диспетчерского управления (АСДУ) энергосистемами и энерго-объединениями. Они обслуживают сосредоточенные объекты. Это значит, что в каждой из систем имеется один ПУ и один КП. Каждая из систем передает с КП только известительную информацию, команды с ПУ не передаются. Обозначены их недостатки, такие как морально-устаревшая элементная база, выполнение ограниченного набора операций, не допускает изменения конфигурации сети, структура передаваемых сигналов не соответствует требованиям современных стандартов и т.д. В заключении следует отметить, что такие недостатки централизованных АСУТП, как большие затраты на кабельную сеть и вспомогательное оборудование, сложный монтаж, низкая надежность и сложная реконфигурация, сделали их во многих случаях абсолютно неприемлемыми как экономически, так и технологически. Выход из этого положения – применение цифровых промышленных сетей.

В третьем разделе главы один определены функциональные компоненты современных систем, такие как подсистема сбора и обработки первичной телеинформации, поступающей от цифровых измерителей электрических величин и модулей, система обеспечения единого астрономического времени (СОЕВ);, подсистема передачи информации, обеспечивающая внутрисистемный обмен данными и обмен данными с внешней автоматизированной системой, подсистема обработки и визуализации процессов и т.д.

В четвертом разделе главы одна рассмотрена архитектура системы. В качестве основы для построения системы телемеханики выбрана иерархическая пирамидальная архитектура с выраженной вертикалью подчинённых уровней. В системе выделяются четыре уровня иерархии. Полевой уровень – уровень источников сигналов, собираемых и обрабатываемых системой. Дискретные сигналы (ТС) формируются на блок-контактах КСА коммутационных аппаратов, реле-повторителях, «сухих» контактах терминалов РЗА и противоаварийной автоматики (ПА), контроллерах АСУ ТП. Аналоговые сигналы текущих телеизмерений (ТИТ) формируются на измерительных трансформаторах тока и напряжения, датчиках температуры.

Во второй главе рассмотрены возможные топологии сети, протоколы передачи данных и разработка интерфейса программы для мониторинга сети. В первом пункте главы второй проанализированы виды топологий. Технологии резервирования каналов связи используются для достижения максимальной надёжности с относительно небольшими инвестициями. В зависимости от размеров, сложности сети и других критериев выбираются комбинации топологий. Для того чтобы выбрать оптимальную топологию, нужно учитывать множество факторов, например пропускную способность, возможность наращивания, латентность, надёжность и пр. Кольцевая топология – простейший способ резервирования. Кольцевые топологии в сравнении с топологией звезды используют разные механизмы резервирования. Отказ в кольце может быть исправлен без остановки сети, поэтому его часто называют самовосстанавливающимся. При отказе в кольце одного канала кольцо превращается в цепочку, но все узлы по-прежнему остаются связанными друг с другом.

Во втором разделе второй главы проведен сравнительный анализ возможных протоколов. Могут применяться следующие протоколы: RSTP, PRP, HSR, MRP. Даны оценки каждого протокола по таким параметрам как

детерменизм/скорость восстановления, гибкость топологии и стоимость реализации. Стоит отметить превосходства современных протоколов «бесшовного резервирования высокой доступности» HSR (High Availability Seamless Redundancy) и «параллельного резервирования» (PRP Parallel Redundancy Protocol) – это новейшие дополнения к стандарту МЭК-62439 для промышленных Ethernet сетей высокой доступности. Будучи разработанным для критически важных и чувствительных к временным параметрам применений, таких, как автоматизация подстанций и управление движением, HSR и PRP обеспечивает гарантированное поведение в неблагоприятных условиях и повышенную надежность сети. Увеличенное время безотказной работы сети приводит к уменьшению количества простоев и обслуживания, что ощутимо сказывается на общем снижении затрат средств. HSR и PRP обеспечивают резервирование сети и бесшовное переключение в случае возникновения отказов. Это особо важно для автоматизации и управления технологическими процессами в приложениях, которые в своей работе полностью зависимы от скорости, точности времени и не могут допускать потери пакетов и задержки.

В третьем разделе части главы два представлен графический интерфейс утилиты по мониторингу сети на втором уровне системы. Утилита сетевого мониторинг позволяет решать следующие задачи: контроль маршрутизации; контроль доступа в Интернет; мониторинг приложений, использующих сетевые ресурсы; локализация и выявление аппаратных неисправностей компонентов сети; выявление неисправностей, вызванных неправильным конфигурированием программных средств — в том числе неверной настройки драйверов сетевых устройств, некорректного назначения сетевых адресов и т.п.; измерение сетевого трафика, создаваемого приложениями; ведение записи отчета о работе сети; Утилита может, во-первых, работать с устройствами (узлами) сети как с объектами мониторинга (то есть отображать статистику по трафику с фильтрацией по адресам устройств, осуществлять мониторинг высокого или низкого уровня трафика сетевых узлов, производить конфигурирование узлов сети как объектов категории «Device», использовать фильтры для отображаемых устройств, вести отчет об активности устройств по отдельным протоколам и сервисам: (MAC, IP, IPX или DNS); во-вторых, выполнять Ping и Tracert по установленному расписанию; в-третьих, отправлять результаты мониторинга согласно установленной схеме (по расписанию) на печать, на заданный адрес электронной почты или сохранять в файл; в-четвертых, вести log-файл по сетевому трафику.

В третьей главе рассмотрен пример автоматизированной электроподстанции. В первом разделе рассмотрена функциональная схема, где в качестве основы для построения системы телемеханики выбрана иерархическая пирамидальная архитектура с выраженной вертикалью подчинённых уровней. В системе выделяются четыре уровня иерархии. Все уровни подробно описаны с учетом выбора оборудования. Данная система, построенная на базе современных технических средств, средств диагностики и визуализации, позволяет выполнить полный объем задач с надлежащим качеством.

Во втором разделе третьей главы рассмотрена структура кадра данных протокола HSR и его возможности в рамках использования кольцевой топологии. Как мы выяснили, стандартные устройства «не понимают» HSR-данные, однако сами HSR-устройства «понимают» стандартный формат данных. Это необходимо для конфигурирования и диагностики узлов кольца. При этом стандартные кадры данных не проходят по кругу, как HSR-данные, а пересылаются напрямую между станцией управления и устройством. HSR-кольцо начинает работу в штатном режиме только после отключения станции управления и замыкания цепи. HSR-кольца можно соединять между собой двумя 4-портовыми устройствами, называемыми QuadBox. Устройства дублируют друг друга, поэтому общая сеть также остаётся резервированной.

Вопрос резервирования сети рассмотрен в третьем разделе главы три. Резервирование сетей Ethernet – это добавление избыточных линий связи с целью избавления от узких мест, то есть единственных каналов и узлов передачи данных, от работоспособности которых зависит функционирование сети. механизм резервирования реализован в протоколе «бесшовного резервирования высокой доступности» HSR (High Availability Seamless Redundancy), описанном в стандарте IEC 62439-3. HSR использует две параллельных сети передачи данных с произвольной топологией, не ограниченной ни кольцами, ни другими структурами. В целом протокол HSR позволяет создать сеть с высокой степенью доступности, кольцевой топологией, и не требует значительно больших затрат на оборудование, инфраструктуру и сетевые компоненты.

В четвертом разделе третьей главы рассмотрен вопрос обеспечения кибербезопасности, так как в связи с внедрением сетевых технологий в промышленную сеть остро стоит вопрос кибербезопасности. В процессе слияния сети передачи данных с промышленной системой управления технологическими процессами возникла проблема замены

нестандартизированных сетей и сетей с собственными узкоспециализированным протоколом данных HSR, использующий технологии Ethernet. Построение сетей АСУ ТП по принципу офисных сетей привело к миграции уязвимостей последних в промышленный IT-контур. Выделены три источника возникновения опасностей и предложено решение в виде использования сегментации и брандмауэров с поддержкой DPI между сегментами.

В пятом разделе описана реализация временно синхронизации всех узлов сети так как она необходима для обеспечения взаимосвязанного функционирования распределительных сетей на подстанции. В соответствии с требованиями на подстанции синхронизация часов происходит по протоколу IEEE 1588 PTP v2 с «прозрачными» часами применяется для оборудования на уровне ячеек и процесса. Для этого, начиная с уровня процесса, используются специальные коммутаторы с поддержкой IEEE 1588.

В шестом разделе дано описание Scada-системы, используемая на верхнем уровне. Проведен анализ свойств различных SCADA-систем и выбрана среда разработки, а в подпункте один этого раздела описана среда разработки SCADA система TRACE MODE. В SCADA-системе создаются графические интерфейсы, настраиваются источники данных с полевых устройств, она отвечает за взаимодействие пользователя (оператора, диспетчера, технолога) с происходящим на производстве, а также за архивирование всех нужных данных в БД.



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Новая система, построенная на базе современных технических средств, средств диагностики и визуализации, позволяет выполнить полный объём задач с надлежащим качеством. Предлагаемая система обладает рядом преимуществ перед устаревшими системами ТМ-511 и ТМ-512 пусть и немного модернизированными на текущий момент. Данная работа отображает новый взгляд и подход к организации систем телемеханики, предлагая использовать сетевые технологии. Не стоит забывать и об интеграции во всемирную сеть с целым рядом её полезных сервисов, поддерживаемых армией производителей и разработчиков. К плюсам можно отнести уровень напряжения конкретного объекта, типы и расположение используемого оборудования, реализацию функций мониторинга и управления, обеспечение защиты. Предлагаемая электроподстанция обладает достаточной производительностью, гибкостью и масштабируемостью, дабы обеспечить безотказное соединение большого количества разнородных устройств.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

[29-А.] Савченко П.В., Пелькин Е.В. Автоматизированная система получения информации / X Белорусско-российская научно–техническая конференция– Технические средства защиты информации Минск: БГУИР, 2012.