

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 004.415.2

С.А. Анисимов¹, А.Б. Лоскутов¹, И.В. Полозов¹, А.И. Смирнов², Е.Н. Соснина¹

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНО-ТИРИСТОРНЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЯ И МОЩНОСТИ С КЛЮЧАМИ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО ТОКА (ТТРНМ ОТ)

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
Общество с ограниченной ответственностью «Теком»², г. Н. Новгород

Цель работы: Исследование и разработка программного обеспечения системы управления электрическими сетями, состоящими из узлов, содержащих ТТРНМ ОТ и обеспечивающих одновременную возможность автономной работы каждого распределительного узла и централизованное управление всей совокупностью элементов энергосети.

Научный подход: Исследование проведено с использованием графовой модели электрических сетей и с использованием графа коммутационной схемы для модели электрических схем. Проектирование системы проведено с использованием объектно-ориентированного подхода.

Результат: Разработана общая концепция и архитектура сети, состоящей из узлов – активно-адаптивных систем управления (ААСУ) и узлов распределённой системы мониторинга и управления (РСМУ).

Новизна: Результаты исследования новы и могут иметь практическое приложение для хозяйственных задач электроэнергетики, связанных с процессами генерации, распределения и учёта электроэнергии и инвентаризации оборудования узлов. Работа выполнена при финансовой поддержке министерства образования и науки РФ (ГК № 16.526.12.6016 от 11.10.2011)

Ключевые слова: распределенная система мониторинга и управления, активно-адаптивная система управления, архитектура, топология

Введение

В существующих схемах построения распределительных сетей, используется преимущественно централизованный ручной подход к управлению аварийными режимами. Основной отличительной чертой данного подхода является зависимость работы секционных аппаратов (разъединителей, пунктов секционирования) от решений верхнего уровня (диспетчера). Для обеспечения возможности выделения (секционирования) поврежденного участка сети на магистрали устанавливаются линейные разъединители. Сетевой резерв выполняется вручную.

В такой схеме при возникновении повреждения на любом участке происходит отключение защитного аппарата на отходящем фидере и все потребители линии на длительное время теряют питание. Для локализации повреждения на фидер выезжает оперативная бригада, и путем последовательных переездов и переключений разъединителей вручную выделяется поврежденный участок сети и запитываются остальные потребители. При данной схеме восстановления электроснабжения задействуется большое количество техники и персонала. Учитывая протяженность и условия прохождения трассы линии, время, затрачиваемое на переезды оперативных бригад, может достигать до нескольких часов и даже суток. Очевидно, что уровень надежности электроснабжения в данном случае крайне низкий.

Для повышения надежности электроснабжения необходимо применять ручной ди-

станционный подход к управлению аварийными режимами. Для этих целей вместо линейных ручных разъединителей требуется устанавливать телеуправляемые разъединители или пункты секционирования с дистанционным управлением. В случае возникновения повреждения все переключения выполняются дистанционно.

Очевидным преимуществом данного подхода является сокращение времени локализации повреждения и затрат. При использовании дистанционного ручного управления аварийным режимом необходимо постоянно контролировать мнемосхему электрической сети и, в случае, возникновения аварийного режима проанализировать факт повреждения и правильно принять решение о ее реконфигурации.

В соответствии с техническим заданием государственного контракта для решения данной проблемы требуется разработать аппаратный комплекс ТТРНМ ОТ, который позволяет решить указанную проблему по управлению электрическими сетями, обеспечивая одновременную возможность автономной работы каждого распределительного узла и централизованное управление всей совокупностью элементов энергосети. Кроме этого, данный узел может являться основой для построения энергетических гридов следующего поколения [1-2].

Разрабатываемое программное обеспечение (ПО) предназначено для функционирования ТТРНМ ОТ в части приема и распределения электрической энергии, автоматизированного управления узлом электрической нагрузки, его защиты, хранения и передачи информации. Комплекс ТТРНМ ОТ включает в себя следующие элементы:

1. Технологическую систему управления ТТРНМ ОТ (ТСУ), которая реализует физическое выполнение команд оперативного управления тиристорным коммутатором отводов регулировочных обмоток с ключами однонаправленного тока, диагностики и измерения необходимых величин функционирования. ТСУ является реализацией самого низшего (физического) уровня управления. Интерфейсом верхнего уровня является активно-адаптивная система управления ТТРНМ ОТ (ААСУ);

2. Активно-адаптивную систему управления ТТРНМ ОТ (ААСУ), которая обеспечивает функции оперативного управления тиристорным коммутатором отводов регулировочных обмоток с ключами однонаправленного тока, диагностики, защиты, измерения, контроля и учета электроэнергии, оперативного хранения и передачи информации на уровень вышестоящей иерархии. ААСУ позволяет обеспечивать работу в автономном режиме при нарушениях связи с верхним уровнем управления;

3. Распределенную систему мониторинга и управления ТТРНМ ОТ (РСМУ), которая реализует централизованное управление набором устройств ТТРНМ ОТ, удаленный доступ к информации и др.

Цель настоящей работы – разработка архитектуры ААСУ и РСМУ, определение поддерживаемых топологий и уровней в графе РСМУ, определение взаимодействия компонентов, разработка дизайна систем ААСУ и РСМУ.

Функции подсистем ААСУ и РСМУ

ААСУ состоит из следующих подсистем:

- *Подсистема сбора технологической информации* для реализации активно-адаптивной системы – предназначена для сбора, систематизации и предоставления технологической информации о состоянии объекта автоматизации, для последующего решения задач эксплуатации узла и линий электропередач;
- *Подсистема логики действий* – осуществляет на основе заложенных в нее алгоритмов логико-математическую обработку полученных данных от подсистем сбора технологической информации и накопления и анализа данных. Подсистема реализована в виде программных модулей, обеспечивающих обработку получаемой информации, а также модулей, осуществляющих принятие решений о переключении режима работы узла;

- Подсистема накопления и анализа данных – включает в себя набор модулей, обеспечивающих выполнение функций долговременного хранения получаемых данных, мониторинга технологической информации и формирования отчётности. В состав подсистемы входят следующие компоненты:
 - хранилище данных;
 - модуль мониторинга и анализа, обеспечивающий возможности мониторинга и анализа оперативной технологической информации;
 - модуль отчётов, обеспечивающий анализ и формирование отчетности по работе узла за необходимый период.
- Подсистема взаимодействия с внешней системой мониторинга и управления обеспечивает оперативный гарантированный обмен данными между компонентами сети и решает следующие задачи:
 - передача технологической информации в центры управления;
 - передача сообщений об аварийных и предаварийных ситуациях на узле;
 - получение управляющих команд и запросов от системы РСМУ;
 - передача отчетов за определенный период по запросу РСМУ.
- Подсистема активно-адаптивного управления предназначена для осуществления управления ТТНМ ОТ в соответствии с логикой и алгоритмами активно - адаптивного управления.

Взаимодействие между устройствами ААСУ различных узлов, а также с системой РСМУ для обмена необходимой информацией осуществляется через интерфейс Ethernet. Организация данных реализуется в соответствии с требованиями протоколов TCP/IP и SNMP.

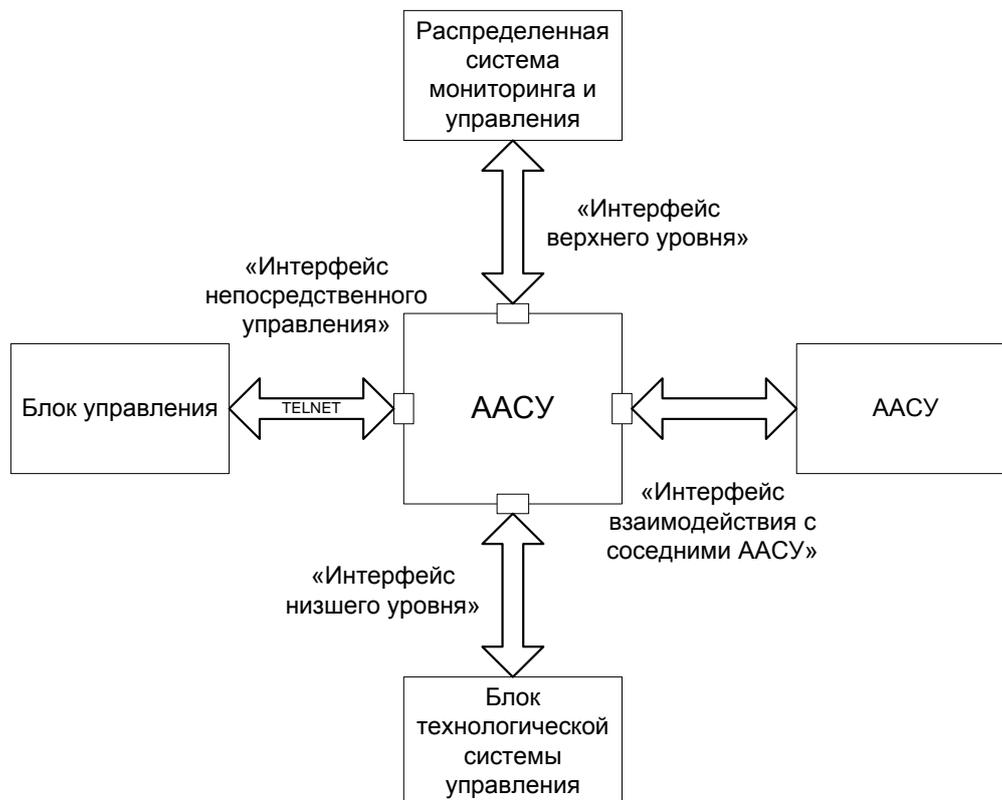


Рис. 1. Блок-схема интерфейсов ААСУ

ААСУ реализует следующие интерфейсы:

Южный интерфейс – протокол взаимодействия с системой управления низшего уровня (ТСУ). Взаимодействие компонент внутри узла нагрузки осуществляется через последо-

вательный интерфейс. Организация входных и выходных данных реализуется в соответствии со стандартами интерфейса RS-485 и протокола MODBUS RTU.

- Западный интерфейс - протокол подключения управляющего терминала (TELNET) с реализацией командного протокола управления и запросов данных. Реализуется через последовательный порт RS-232.
- Восточный интерфейс - протокол взаимодействия с соседними ААСУ для осуществления механизма активно-адаптивного управления ААСУ посредством хмлгрс вызовов. На протокольном уровне идентичен интерфейсу связи с РСМУ.
- Северный интерфейс – протокол взаимодействия с распределенной системой мониторинга и управления (РСМУ) для обеспечения верхнего уровня управления необходимой информацией и получения команд управления. Реализуется через закрытую сеть (по защищенным каналам) и/или через открытую сеть (с наличием систем безопасности).

Блок-схема интерфейсов ААСУ представлена на рис. 1.

В состав РСМУ входят следующие подсистемы и компоненты:

- Подсистема сопряжения с сетевыми элементами предназначена для реализации протоколов взаимодействия с ААСУ и РСМУ, а также для сопряжения РСМУ с внешними системами управления и обеспечивает:
 - двустороннее сопряжение РСМУ и ААСУ;
 - возможность сопряжения по основным протоколам взаимодействия вычислительных систем (Q3/CMIP, SNMP, CORBA, ASCII) и частным протоколам;
 - возможность сопряжения с другими системами на основе протоколов производителей.
- Подсистема централизованного мониторинга работы ААСУ и технологического оборудования обеспечивает выполнение следующих функций:
 - сбор и хранение в базе данных основных аварийных сообщений;
 - анализ взаимосвязанных событий, корреляции, фильтрации аварийных сообщений и формирования сообщения о первопричине неисправности;
 - архивирование аварийных сообщений (в том числе, в исходной форме), извлечение архивированных сообщений, удаление сообщений из архива, экспортирование списка аварийных сообщений;
 - квитирование получения сигнала оператором;
 - передача информации в систему формирования и обработки аварийных квитанций.
- Подсистема централизованного сбора, хранения и обработки данных предназначена для сбора и хранения данных о работе сети ТТРМ ОТ с целью анализа и последующего управления. Также подсистема осуществляет промежуточную обработку получаемых данных с целью предварительного агрегирования для повышения эффективности последующей обработки.
- Подсистема учета ресурсов и оборудования (инвентаризации) предназначена для учета физических и логических ресурсов сети, а также для формирования отчетности по располагаемым ресурсам. Данная подсистема позволяет осуществлять:
 - учет физических ресурсов (питающие линии, распределительная система, ТТРМ ОТ);
 - учет логических ресурсов: топологии сети и ее характеристик (наименование сетей, подсетей и виртуальных сетей, схема организации), а также логических соединений для передачи данных и их характеристик;
 - автоматическое или задаваемое пользователем обновление базы данных ресурсов сети в соответствии с реальным состоянием сети;
 - создание, сохранение и использование новых шаблонов управляемых и/или сетевых элементов;
 - деление сетевых элементов по уровням доступа в соответствии с физическими и логическими доменами сети;

- графическое отображение ресурсов сети с индикацией нагрузки и повреждения;
- иерархическое отображение сети с учетом прав доступа различных пользователей.
- Подсистема формирования и обработки аварийных квитанций осуществляет взаимодействие с подсистемами централизованного мониторинга и учета ресурсов и обеспечивает выполнение следующих функций:
 - формирование процедур обработки аварийных квитанций с указанием «маршрута движения» между подразделениями предприятия и ответственными лицами;
 - формирование аварийной квитанции при появлении аварийного сообщения на сети, возможность передачи квитанции соответствующим подразделениям, возможность эскалации ситуации;
 - ручное и автоматическое создание аварийной квитанции, механизмы отслеживания;
 - ведение базы данных аварийных квитанций;
 - создание форм аварийных квитанций пользователем.
- Подсистема оповещения реализует альтернативные способы оповещения об изменении состояния контролируемых объектов (SMS, электронная почта, передача сообщения на пейджер).
- Подсистема статистики и аналитики предназначена для анализа технических показателей и формирования итоговой статистической и аналитической отчетности. Работа подсистемы статистики и аналитики тесно взаимосвязана с подсистемами учета ресурсов сети, подсистемой централизованного мониторинга и подсистемой анализа качества функционирования. Подсистема обеспечивает работу следующих функций:
 - мониторинг качества в режиме реального времени с возможностью контроля KQIs (Key Quality Indicator) SLA и оповещения в случае нарушения соглашений об уровне обслуживания (SLA);
 - генерация автоматических отчетов о качестве предоставляемых услуг;
 - создание собственных отчетов в различных форматах;
 - сбор данных, хранение и формирование итоговых параметров сети с разбивкой по часам, дням, месяцам и т.п.;
 - дополнительный анализ данных для формирования трендов нагрузок;
 - долгосрочный анализ функционирования системы;
 - графическое представление данных по качеству функционирования с возможностью построения графиков, диаграмм, отображения параметров качества на графическом представлении сети
- Подсистема защиты и аутентификации выполняет следующие функции:
 - разделение пользователей на группы в соответствии с правами доступа и управления;
 - аутентификация пользователей при помощи системы паролей;
 - аппаратная аутентификация вычислительных систем, подключаемых к ААСУ по протоколу TELNET;
 - аппаратная аутентификация вычислительных систем, входящих в иерархию управления на всех уровнях распределенной системы.
- Подсистема отображения информации реализует следующие функции:
 - возможность заполнения дополнительных полей в базе данных аварийных сообщений для указания предпринимаемых действий по устранению аварии;
 - навигация от списка аварийных сообщений к графическому представлению;
 - присвоение аварийным сигналам приоритетов в соответствии со степенью важности и возможность фильтрации информации по признакам приоритетности;
 - возможность выбора цветовой и звуковой индикации сигналов для различных приоритетов.

Система РСМУ предусматривает наличие следующих интерфейсов, показанных на рис. 2:

- Интерфейс взаимодействия с ААСУ ТТРHM OT - интерфейс низшего уровня («южный интерфейс») – интерфейс взаимодействия с ААСУ ТТРHM OT, необходимый для обеспечения получения данных и управления;
- Интерфейс взаимодействия с соседними РСМУ - интерфейс передачи данных в другую РСМУ («восточный интерфейс») для возможности объединения с другими РСМУ при формировании сети управления. Предназначен для обеспечения более высоких уровней управления данными и получения внешних команд управления;
- Интерфейс взаимодействия с пользователями – представляет собой интерфейс автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов. Реализуется через веб-интерфейсы (технология «тонкого клиента»).

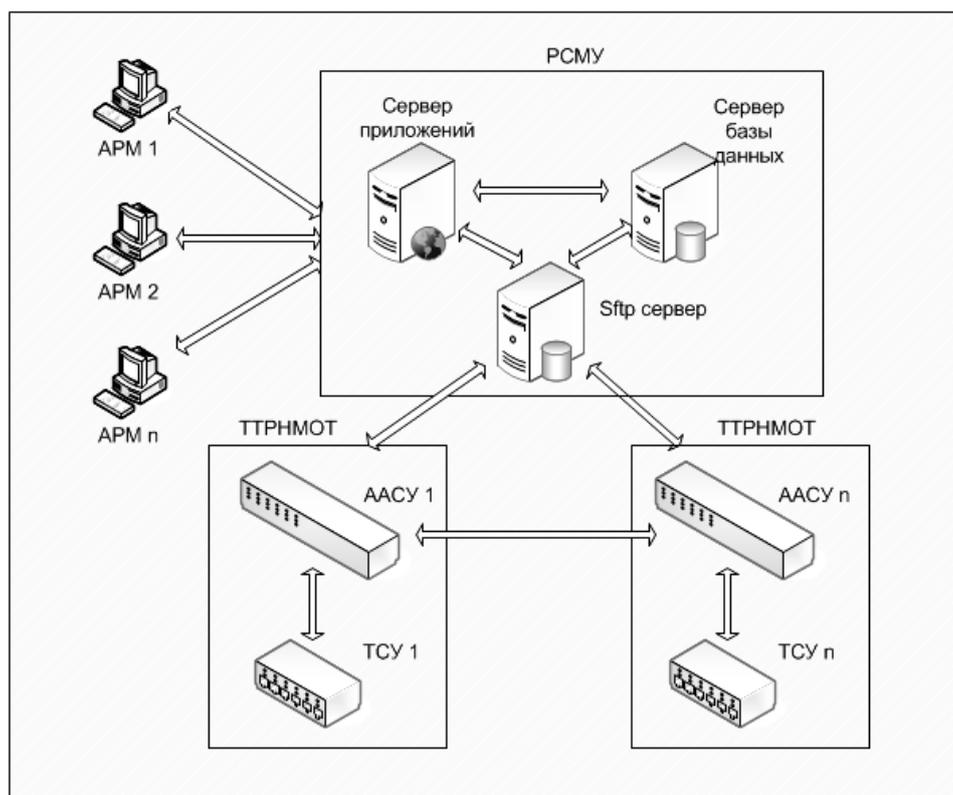


Рис. 2. Взаимодействие компонентов сети РСМУ

Топология сети

Общая концепция сети РСМУ представлена на рис. 3:

- сеть состоит из узлов ААСУ, связанных между собой;
- к сети также подключены узлы РСМУ;
- каждый узел РСМУ отвечает за свою часть общей сети.

Система РСМУ должна быть способной обслуживать сеть, включающую в себя до 4000 связанных друг с другом устройств. Устройства, с одной стороны, входят в единый граф топологии сети, а, с другой – могут и должны быть разделены на разные логические группы. Анализ топологий графов в [3-5] показал, что работа с общей топологией устройств будет сложна и неудобна из-за ее большого размера, тогда как работа с подгруппами элементов представляется оптимальной с точки зрения удобства, и с точки зрения разграничения сфер ответственности операторов. Общая схема построения топологии сети РСМУ представлена на рис. 4.

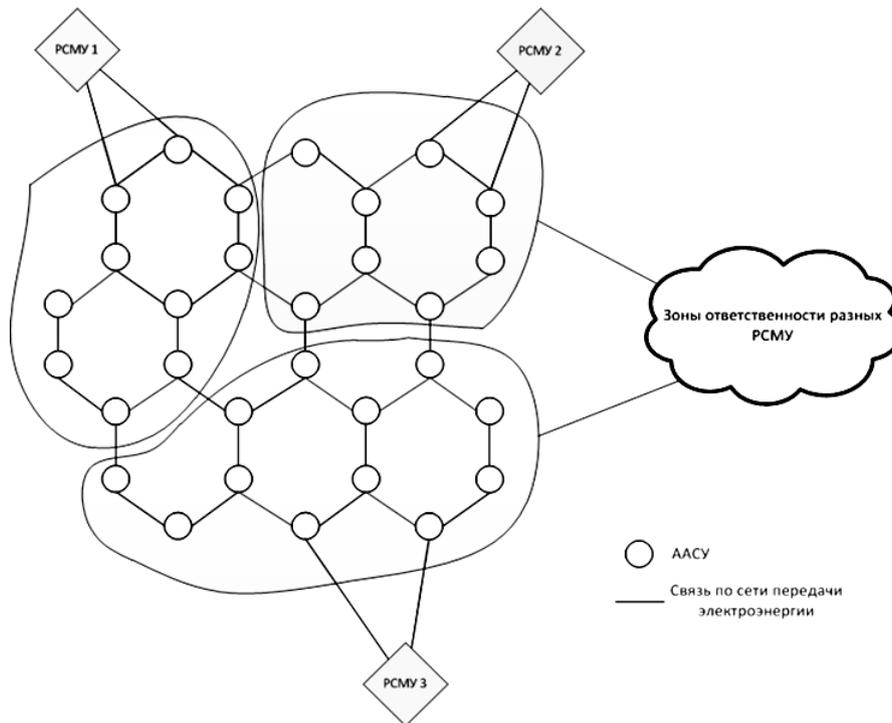


Рис. 3. Общая схема сети РСМУ

Принцип отображения топологии сети РСМУ

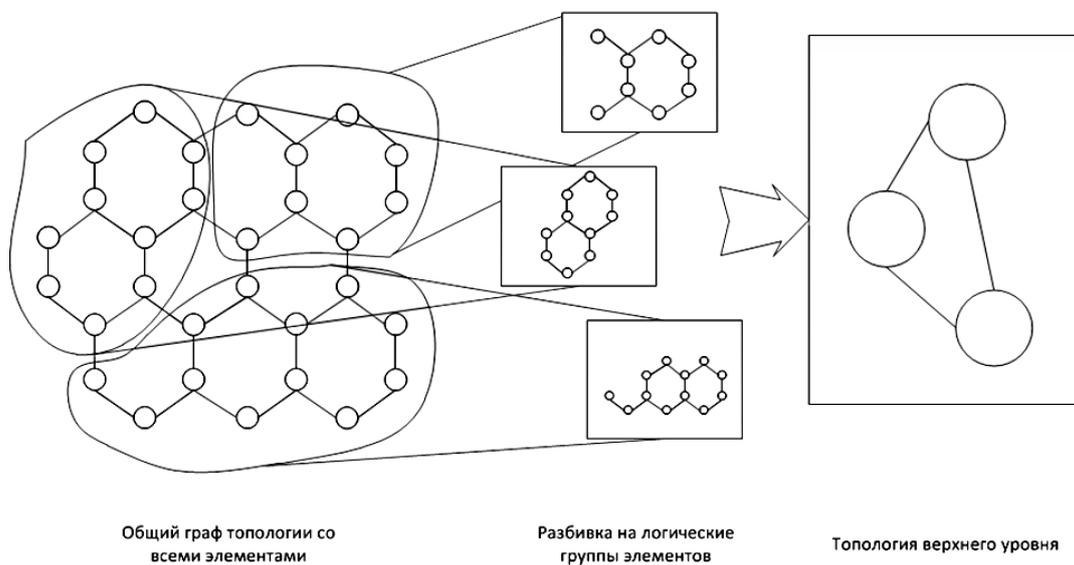


Рис. 4. Схема построения топологии сети РСМУ

Принципы построения топологии:

- Основная топология строится в виде единого связного графа;
- Существует возможность разбивки общей топологии на логические группы по принципам, определяемым пользователем:
 - географическое разделение;
 - административное разделение;
 - логическое разделение, с точки зрения построения сети.

- Возможность дальнейшего объединения групп элементов в диаграммы верхнего (третьего) уровня.
Связи между элементами:
 - Первоначальный общий граф топологии считается основополагающим.
 - Связи элементов на диаграммах второго и третьего уровней отрисовываются автоматически в соответствии с общим графом топологии.
- Отображение аварийных ситуаций основано на следующих принципах:
- Аварийные ситуации на элементах сети, входящих в элемент топологии третьего уровня, агрегируются для отображения на элементах топологии третьего уровня.
 - Имеется возможность отображения как общего графа топологии, так и каждой логической группы элементов по отдельности, а также топологий третьего уровня в виде диаграмм.
 - Имеется возможность отображения отдельных ветвей в дереве элементов для топологий второго и третьего уровня и входящих в них элементов.

Дизайн программного обеспечения ААСУ и РСМУ

Архитектура программного обеспечения ААСУ представлена на рис. 5.

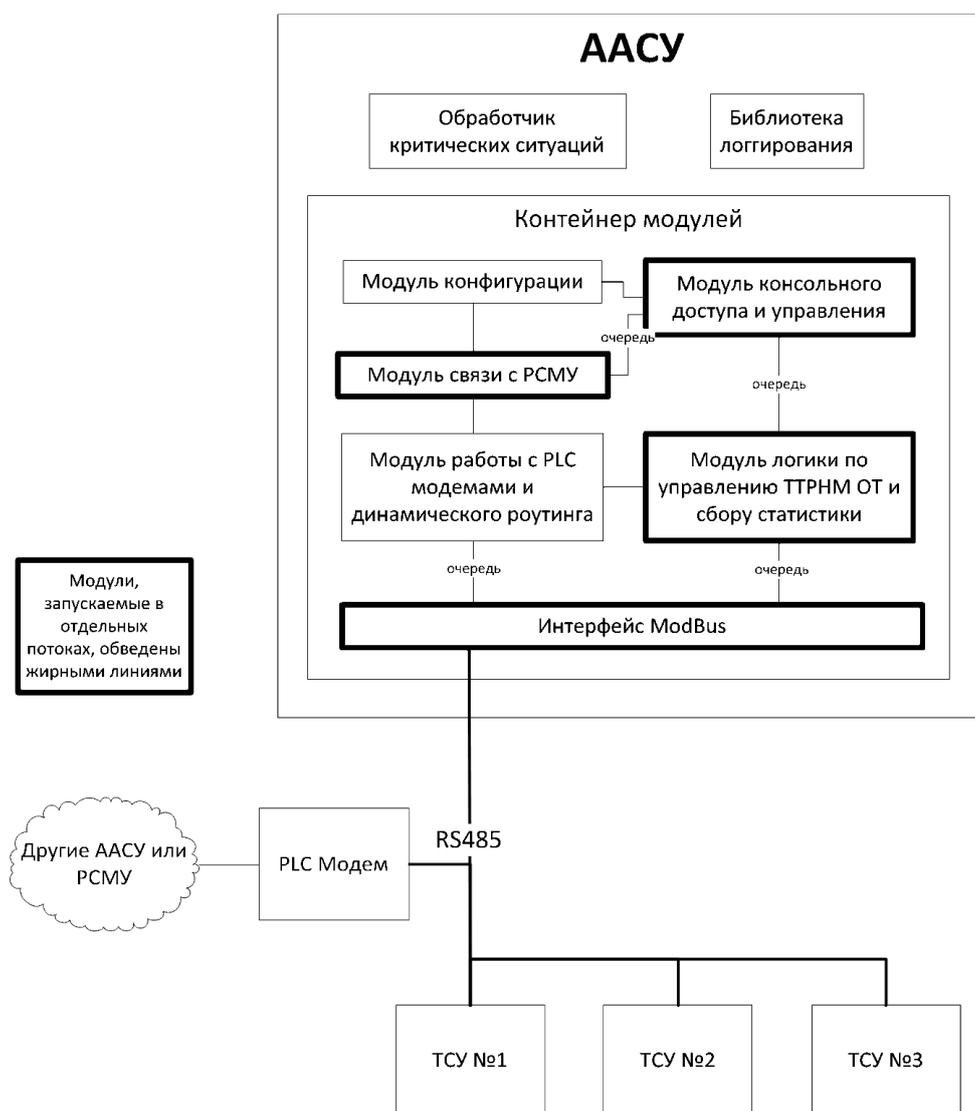


Рис. 5. Архитектура программного обеспечения ААСУ

При старте приложения происходит инициализация основных компонентов. Все логические модули приложения инициализируются внутри контейнера модулей после старта и инициализации. Модули инициализируются в соответствии с фиксированным списком, хранящимся в контейнере модулей. Работа приложения завершается только в случае перезапуска при изменении конфигурации. Также завершение работы может наступить при наступлении аварийной ситуации. Модули связываются между собой через контейнер модулей по шаблону проектирования. Задача обработчика критических ситуаций - отловить момент наступления критической ситуации и обеспечить корректное завершение работы приложения.

Архитектура программного обеспечения РСМУ представлена на рис. 6.

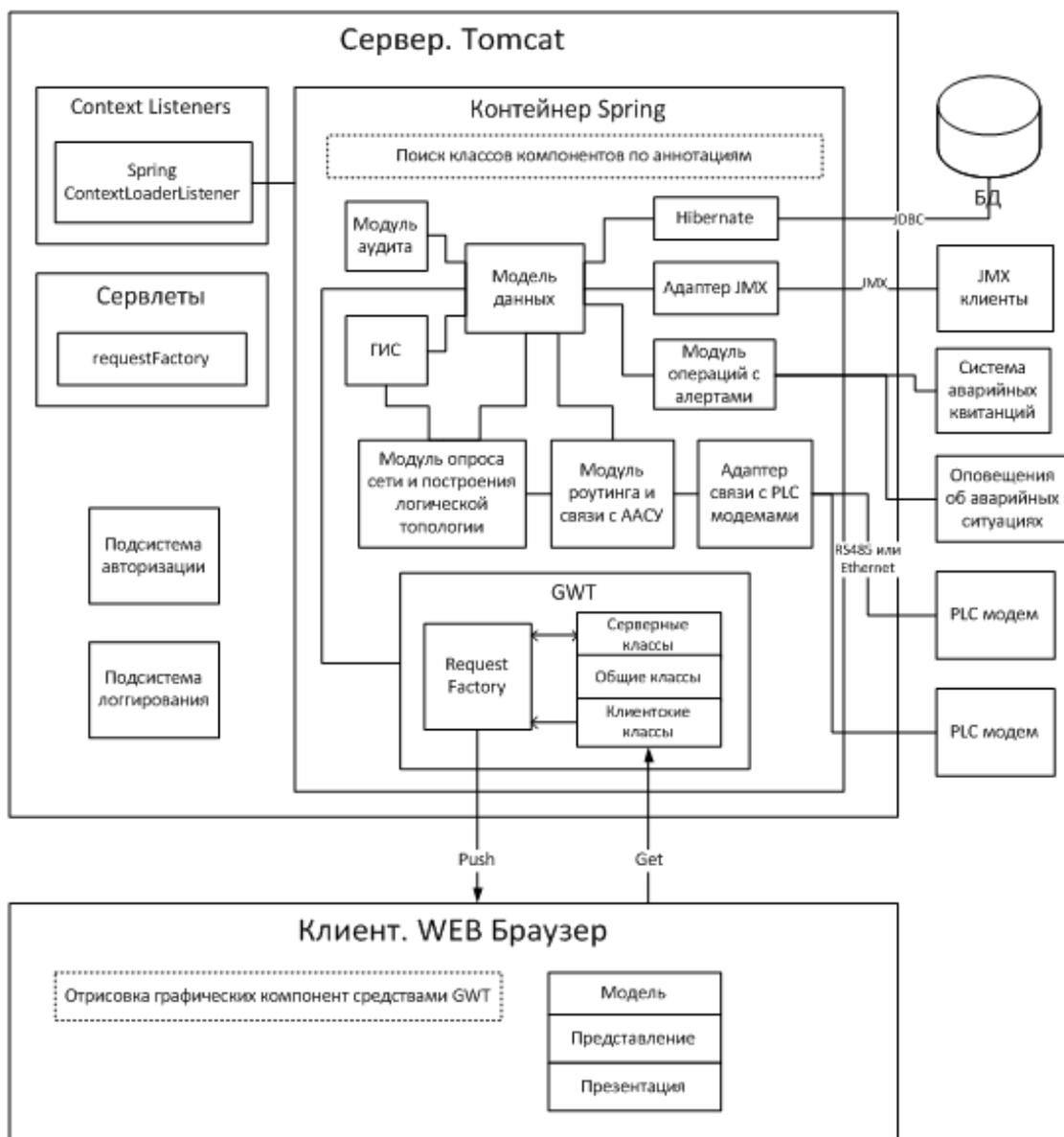


Рис. 6. Архитектура программного обеспечения РСМУ

Физически весь код запускается и работает внутри сервера приложений Tomcat. Библиотека Spring Framework выступает в роли контейнера для классов бизнес-логики приложения. Библиотека Spring Framework инициализируется посредством Context Listener в Tomcat.

Для описания модели классов и зависимостей между ними используются аннотации. Для работы с базой данных используется библиотека Hibernate. Подсистема логгирования инициализуется и существует внутри сервера приложений Tomcat независимо от контейнера Spring. Клиент разрабатывается по модели MVP и основан на центральной шине событий и уведомлений.

Заключение

Разработана архитектура программного обеспечения для системы управления трансформаторно-тиристорным регулятором нового типа. Предложена топология сети с возможной поддержкой энергетических гридов нового поколения. Разработан дизайн систем ААСУ и РСМУ.

Библиографический список

1. **Лоскутов, А.Б.** Новый подход к построению электрических распределительных сетей России / А.Б. Лоскутов, Е.Н. Соснина, А.А. Лоскутов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 147-151.
2. **Анисимов, С.А.** Алгоритмы управления отказами в энергетических гридах следующего поколения / С.А. Анисимов, М.Н. Ушакова // Технические науки XVII Нижегородская сессия молодых ученых: материалы научно-технической конференции / НИУ РАНХиГС. – Нижний Новгород. 2012. С. 112-114.
3. **Анисимов, С.А.** Протокол поиска ресурсов в децентрализованных гридах, обладающих свойствами тесного мира / С.А. Анисимов, В.А. Зыбин, В.В. Крылов // Труды НГТУ, 2009. Т. 80. №1. С. 13-19.
4. **Анисимов, С.А.** Распределение нагрузки в децентрализованных гридах, обладающих свойствами тесного мира // Вестник ННГУ. 2011. №3. С. 173-179.
5. **Анисимов, С.А.** Управление отказами в децентрализованных гридах обладающих свойствами тесного мира // Вестник ННГУ. 2011. №6. С. 214-218.

*Дата поступления
в редакцию 09.10.2012*

S.A. Anisimov¹, A.B. Loskutov¹, I.V. Polozov¹, A.I. Smirnov², E.N. Sosnina¹

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE CONTROL SYSTEM ARCHITECTURE FOR THE THYRISTOR-CONTROLLED VOLTAGE AND POWER TRANSFORMER WITH UNIDIRECTIONAL CURRENT SWITCHES (TVPT UCW)

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alexeev¹,
LLC Tecom²

Purpose: Design and development of software control and monitoring system for the electrical power grid consisting of TVPT UCW and providing ability for each grid node to work independently as well as for the entire grid to be centrally controlled.

Design/methodology/approach: Research is conducted using graph model of the electrical power grid and circuit diagram for the electrical circuit model. Software control system is designed based on the OOP principles.

Findings: The main concept has been developed for building strategy and architecture of the electrical grid consisting of nodes represented as Active and Adaptive Control Systems (AACS), and centrally controlled by the Distributed Control and Monitoring System (DCMS).

Originality/value: Findings of this work can be used in the area of commercial electrical power distribution, generation and metering, as well as power distribution equipment inventory. This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, as part of government contract from October 11 2011, № 16.526.12.6016.

Key words: Distributed Control and Monitoring System, Active and Adaptive Control System, architecture, topology.