

# Система управления тяговыми подстанциями муниципального электротранспорта SCADA RTEC

*Владимир Чикликчи, Денис Сидоренко, Вячеслав Сидоренко, Александр Кудряков, Владимир Алексеенко, Грета Еремей, Александр Анацкий, Сергей Пустовалов, Валентин Суклиян*

В статье приводится описание системы SCADA RTEC, разработанной компанией SoftCom S.A. Данная система является комплексным решением по обеспечению муниципального предприятия общественного электротранспорта RTEC (г. Кишинёв) современной АСУ ТП.

## Постановка задачи

Кишинёвское муниципальное предприятие «Regia Transporturi Electrice Chişinău» (RTEC) обеспечивает работу столичного общественного электрического транспорта (троллейбусов) и предоставляет транспортные услуги населению по перевозке пассажиров в пределах города по установленным маршрутам.

На момент разработки представляемого в статье проекта система управления тяговыми подстанциями (ТП) электротранспорта Кишинёва не отвечала современным требованиям АСУ ТП и являлась морально устаревшей. В системе — более 40 необслуживаемых подстанций. Каждая ТП состоит из одного или нескольких агрегатов, преобразующих 10 000 В переменного тока в 600 В постоянного тока, и ряда линейных выключателей, обеспечивающих возможность аварийного (или планового) отключения фидеров, питающих троллейбусные линии. Принимая во внимание данные проблемы и условия, была поставлена задача разработать, реализовать и внедрить систему управления ТП, отвечающую требованиям быстрейшего действия, надёжности и безопасности, характерным для современных АСУ ТП. За основу была принята трёхуровневая модель системного взаимодействия [1]: первый уровень — уровень сбора и предваритель-

ной обработки аналоговых и дискретных данных при помощи оборудования, расположенного непосредственно на ТП; второй уровень — уровень передачи данных, построенный на основе выделенных линий и технологии DSL; третий уровень — уровень окончательной обработки, хранения и отображения информации у дежурного диспетчера. В состав передаваемой информации входят следующие виды

сигналов: дискретные сигналы о состоянии блоков и элементов агрегатов преобразования напряжения, а также аналоговые измерительные сигналы выходных токов и напряжения на них; дискретные сигналы о состоянии линейных выключателей питания фидеров и элементов их управления; аналоговые измерительные сигналы тока в фидерах питающих [2]. Также была поставлена задача организовать теле-



Кишинёвский троллейбус

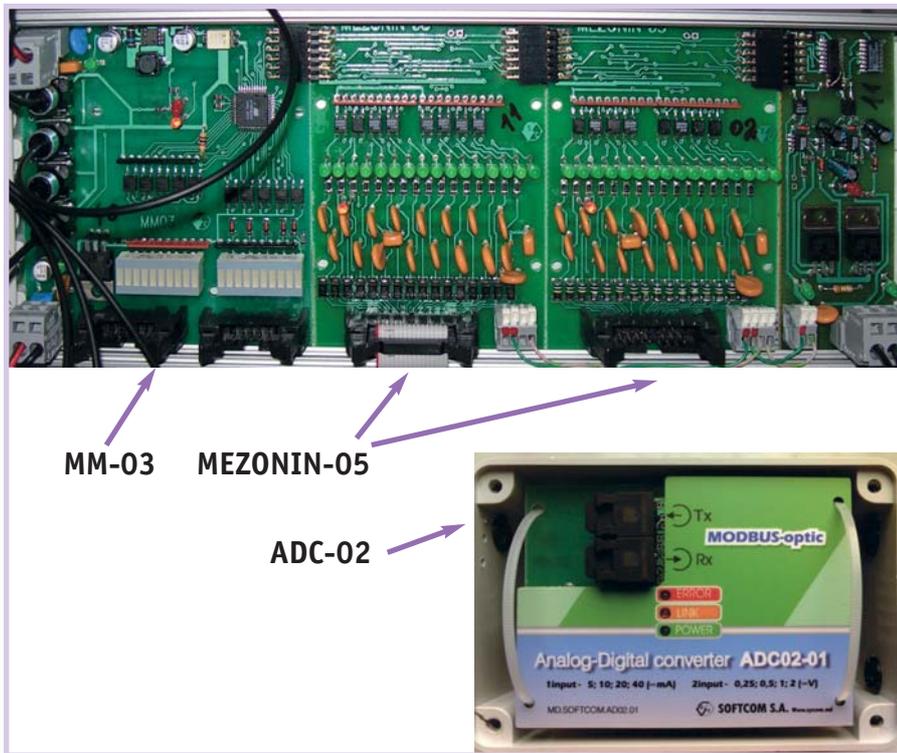


Рис. 1. Устройства сбора и предварительной обработки данных

управление линейными выключателями фидеров и высоковольтными выключателями (масляными или вакуумными), которые обеспечивают отключение агрегатов от напряжения 10 000 В.

### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ SCADA RTEC

Разработанная система управления получила название SCADA RTEC. Основу её первого уровня составил интеллектуальный шкаф управления, обеспечивающий телеуправление (ТУ), сбор дискретных телесигналов (ТС) и аналоговых отсчётов телеизмерений (ТИ) с объектов ТП, а также связь с пунктом дежурного диспетчера.

В состав аппаратуры сбора и предварительной обработки данных входят устройства MM-03 и MEZONIN-05, размещённые внутри шкафа управления, а также выносные блоки аналоговых измерителей ADC-02 (рис. 1). MM-03 подаёт команды телеуправления на исполнительные реле, опрашивает аналоговые измерители ADC-02, осуществляет сбор дискретных телесигналов посредством каскадно подключённых модулей расширения MEZONIN-05. Одно устройство MM-03 обеспечивает подачу команд ТУ по 8 каналам, опрос до 254 аналоговых измерителей, считывание до 64 ТС. Выносные блоки ADC-02 измеряют аналоговые параметры токов и напря-

жений объектов ТП, устанавливаются непосредственно на этих объектах и подключаются к шкафу управления через оптоволоконные каналы связи. Каждый блок ADC-02 поддерживает два канала измерений и содержит в своём составе соответственно две схемы нормирования сигналов и два устройства АЦП с микроконтроллером.

Устройства MM-03, MEZONIN-05 и ADC-02 имеют возможность каскадирования и включения в кольцевую сеть передачи данных, обеспечивают обмен данными по протоколу Modbus. Все они являются устройствами собственной разработки и выполнены на базе 8-битовых RISC-процессоров фирмы Atmel.



Рис. 2. Шкаф управления (этап подготовки к установке на ТП)

Главным модулем шкафа управления является промышленный встраиваемый компьютер UNO-2050 фирмы Advantech. Данный компьютер обеспечивает обмен данными с устройствами MM-03, MEZONIN-05, ADC-02, а также формирование исходящих пакетов данных телеметрии и обработку пакетов, принятых из центрального диспетчерского пункта. Помимо этого в состав шкафа управления входит модем P-794M фирмы Zyxel, обеспечивающий обмен данными с центральным диспетчерским пунктом по выделенным линиям в соответствии со стандартом G.SHDSL. Ещё одним немаловажным устройством является VoIP-модем P-2002 EE (тоже фирмы Zyxel), при помощи которого появляется возможность обеспечить диспетчера и персонал, обслуживающий ТП, голосовой связью через те же каналы передачи данных.

В связи с тем, что питание шкафа управления может пропадать на довольно длительный срок, внутри шкафа была установлена батарея из двух источников резервного питания, обеспечивающая автономную работу аппаратуры на время до 12 часов. В качестве источников резервного питания были применены щелочные аккумуляторы закрытого типа фирмы RADU ёмкостью 42 А·ч.

Шкаф управления выполнен на базе конструктива фирмы Schroff с использованием клемм компании WAGO (разъёмы этой же компании применены в устройствах сбора и предварительной обработки данных собственной разработки).

Внешний вид шкафа управления тяговой подстанции показан на рис. 2.

### ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИКОВОГО ОПТОВОЛОКНА В КАЧЕСТВЕ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ВНУТРИ ТП

Главная особенность системы SCADA RTEC — необходимость измерения токов и напряжения на фидерах питания троллейбусов. Рабочее напряжение на фидере 600 В, ток до 2000 А (8000 А в импульсе). Измерение тока производится с помощью токовых шунтов с выходным сигналом 75 мВ.

Применение в составе ADC-02 модулей АЦП с оптическим выходом и полевой сети на основе пластикового оптоволоконна (Plastic Optical Fiber — POF, далее POF-магистраль) позволило значительно упростить систему SCADA RTEC. Отпала необходимость формирования традиционных цепочек преобразования аналоговых сигналов: нормирование, гальваническая развязка, транспортировка и аналого-цифровое преобразование.

Модуль АЦП блока ADC-02 непосредственно преобразует сигнал 75 мВ в цифровой код, а POF-магистраль, обеспечивая необходимую развязку, с высокой скоростью и надёжностью доставляет полученную информацию со всех модулей АЦП на сервер данных. Таким же образом производится сбор дискретной информации о состоянии всех агрегатов тяговой подстанции.

POF-магистраль имеет кольцевую топологию, где каждый узел должен иметь два сетевых интерфейса. Эта топология удобна для оптоволоконных каналов, где сигнал может передаваться только в одном направлении (но при наличии двух колец возможна и двусторонняя передача). Кольцевая топология строится из последовательности соединений «точка-точка».

Для управления POF-магистралью используется коммуникационный протокол Modbus, основанный на клиент-серверной архитектуре, разработанной фирмой Modicon. В промышленности этот протокол стал стандартом де-факто и в настоящее время широко применяется для соединения промышленного электронного оборудования. Он использует технологию «главный-подчинённый», согласно которой только одно устройство (главное) может инициировать передачу (сделать запрос). Другие устройства (подчинённые) передают запрашиваемые главным устройством данные или производят запрашиваемые действия. Типичное

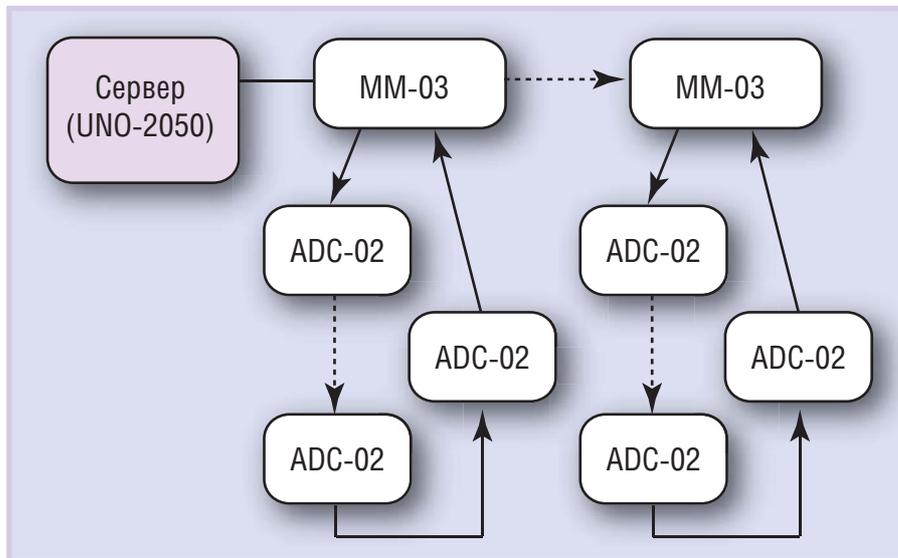


Рис. 3. Топология сети передачи данных через POF

главное устройство — компьютер UNO-2050, типичное подчинённое устройство — программируемый контроллер (MM-03). Протокол Modbus весьма прост в реализации и характеризуется большой надёжностью и достоверностью передачи данных.

Большинство серверов Modbus управляют магистралью через порт RS-232. Для стыковки POF-магистрали с Modbus-сервером используется преобразователь интерфейса RS-232/POF, который совершенно прозрачен для протокола и позволяет использовать Modbus-серверы любых производителей.

В протоколе Modbus адрес модуля представлен одним байтом, и нет никаких препятствий к созданию POF-магистрали кольцевой топологии с количеством модулей до 254. Но создавать такие магистрали не рекомендуется, так как возрастает время отклика и снижается надёжность. В таких случаях рекомендуется применять комбинированные решения с элементами топологии «звезда» и «дерево», которые реализуются посредством Modbus-модулей с как минимум двойным оптическим интерфейсом. Так, в системе SCADA RTEC использованы Modbus-модули с двойным оптическим интерфейсом.

На рис. 3 показана топология сети передачи данных через пластиковое оптоволоконно. В системе SCADA RTEC устройства MM-03 могут дополнительно выполнять роль Modbus-сервера, самостоятельно сканировать блоки ADC-02 и концентрировать собранную информацию, что значительно облегчает работу основного сервера.

Опыт применения показал, что использование пластиковых волоконно-оптических кабелей в межмодульной связи эффективно решает задачи обеспечения требуемой надёжности передачи данных, помехозащищённости, производительности и развязки сигналов. При этом стоимость модуля с оптическим интерфейсом для POF-магистрали по сравнению с модулем с интерфейсом RS-485 возрастает не более чем на \$15. Таким образом, POF-магистрали являются хорошей альтернативой магистралям RS-485.

### СЕТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ SCADA RTEC

Транспортная сеть SCADA RTEC предназначена для передачи и приёма данных с целью обеспечения информационного обмена между распределёнными компонентами (тяговыми подстанциями) на основе единого транспортного протокола. В функции этого (второго) уровня системы входят следующие службы:

- маршрутизации потоков информации;
- обеспечения безопасности транспортной сети;
- обеспечения независимости (прозрачности) от протоколов канального уровня сети для задач уровня прикладных процессов и задач уровня сетевых элементов;
- поддержки физических интерфейсов различной природы в точках входа в транспортную сеть (Ethernet, выделенные каналы различной природы, GSM и т.д.).

Объекты управления ТП распределены географически по всей территории

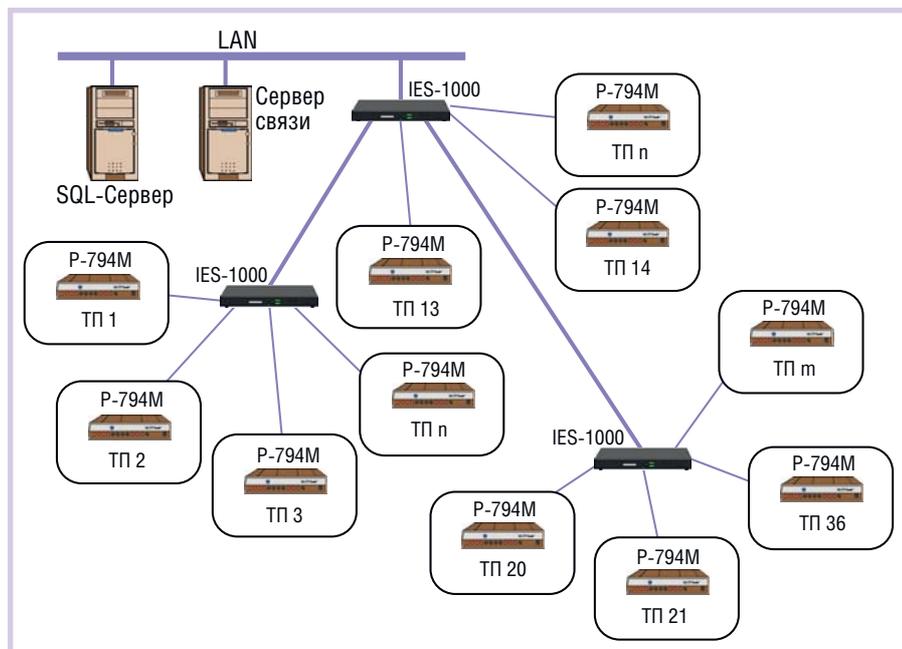


Рис. 4. Структура распределённой сети передачи данных в системе SCADA RTEC

города Кишинёва. Расстояние от объектов управления до центрального диспетчерского пункта — 10 км и более. Для обеспечения транспорта данных необходимо было создать сеть, которая надёжно выполняла бы возложенные на неё функции. Фактически необходимо

было создать корпоративную сеть предприятия, которая бы объединяла множество географически рассредоточенных объектов с центральным офисом.

Для выполнения этой задачи было принято решение использовать выделенные физические линии и техноло-

гию передачи данных G.SHDSL. За основу сети обмена данными между ТП и центральным диспетчерским пунктом были взяты выделенные линии, так как они уже находились в распоряжении Управления электротранспорта на момент разработки данного проекта. Решение установить на этих линиях оборудование обмена данными по стандарту G.SHDSL обосновывалось тем, что он обеспечивает надёжную связь на дальние расстояния в условиях больших шумов, гарантирует передачу данных на необходимой скорости, а также является наименее затратным решением. Технология G.SHDSL благодаря усовершенствованному методу модуляции данных TC-PAM (Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation), являющемуся дальнейшим развитием модуляции 2B1Q, позволяет значительно сузить диапазон используемых частот, уменьшить перекрёстные наводки между каналами в выделенной паре проводов, а также увеличить расстояние передачи до 9 км.

При проектировании сети была выбрана радиально-кустовая архитектура для перекрытия расстояний более 9 км с узлами маршрутизаторов IES-1000

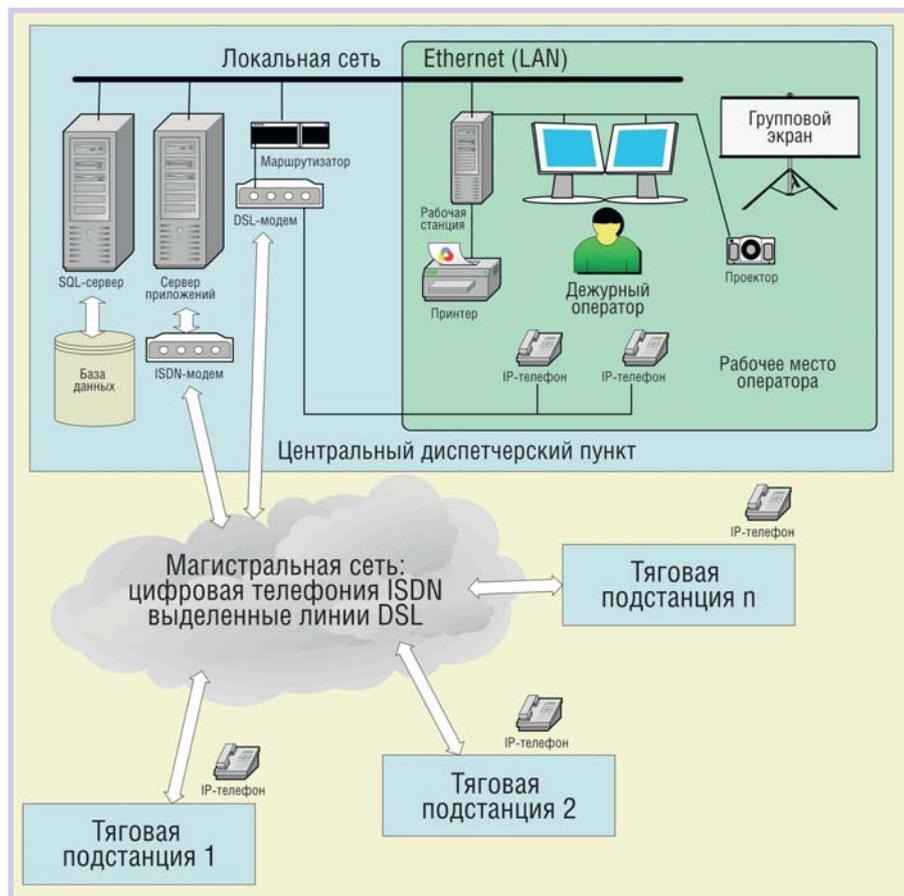


Рис. 5. Общая структура центрального диспетчерского пункта и его связи с тяговыми подстанциями

(ZyXEL), поддерживающих технологию G.SHDSL. Узлы расположены в районах Рышкановка, Ботаника, Телецентр и Центр. Связь с подстанциями от узлов осуществляется при помощи модемов P-794M.

Перечислим основные преимущества применения технологии G.SHDSL:

- превосходство в скорости и дальности (до 9 км при сопротивлении шлейфа до 2 КОм и более) передачи данных над аналогичными устройствами других xDSL-технологий;
- возможность снижения затрат на техническую поддержку и установку за счёт ручной или автоматической подстройки скорости и параметров соединения под параметры линии;
- электромагнитная совместимость с ADSL и другими цифровыми технологиями передачи данных, позволяющая сочетать в одном многопарном кабеле каналы передачи по нескольким разным технологиям и повысить число задействованных пар;
- поддержка QoS (качества обслуживания), UPnP (для упрощения поиска установленного устройства и управления), NAT (дополнительно к режиму одиночного счёта пользователей — SUA);

- резервирование выделенной DSL-линии через WAN-интерфейс;
- широкие возможности локального и дистанционного управления в режимах командной строки, экранного меню и по протоколу SNMP;
- графический Web-интерфейс для быстрого и удобного управления модемом;
- возможность работы с DSLAM и модемами других производителей.

На рис. 4 показана структура распределённой сети передачи данных в системе SCADA RTEC.

Опыт практического применения системы показал, что решение на основе G.SHDSL для задач магистральной корпоративной связи удовлетворяет требованиям заказчика к её параметрам.

### ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ДИСПЕТЧЕРСКИЙ ПУНКТ

Состав оборудования, обеспечивающего работу центрального диспетчерского пункта, можно видеть на рис. 5.

В серверной стойке (рис. 6) установлены сервер связи и сервер базы данных: первый обеспечивает связь и передачу данных между центральным диспетчерским пунктом и ТП, в его функции также входит поддержание



Рис. 6. Серверная стойка центрального диспетчерского пункта

SIP-сервера голосовой связи; второй производит регистрацию, учёт и хранение всех событий, произошедших на ТП. В качестве серверов использованы высоконадёжные компьютеры DELL. Важнейшим элементом серверной стойки является главный маршрутизатор, обеспечивающий соединения с тяговыми подстанциями и другими узловыми маршрутизаторами. Оборудование серверной стойки размещено в шкафу фирмы Schroff (серия PROLINE), отвечающем необходимым требованиям по защите, климатике и удобству монтажа устройств различной конструкции.

На пульте оператора центрального диспетчерского пункта установлена рабочая станция, соединённая через локальную сеть с серверной стойкой. Рабочая станция оснащена двумя мониторами и проекционным экраном (рис. 7), обеспечивающими возможность отображения состояния каждой ТП в отдельности (по выбору оператора) в виде мнемосхемы (рис. 8) и одновременного просмотра общего состояния всех подстанций в виде сводной интерактивной таблицы (рис. 9).



Рис. 7. Рабочее место оператора центрального диспетчерского пункта

Программное обеспечение, разработанное для рабочей станции оператора диспетчерского пункта, отвечает всем требованиям стандартов разработки ПО для систем АСУ ТП. Оно позволяет быстро и ясно оценить состояние каждой из ТП, в случае экстренной ситуации принять оперативные меры по дистанционному устранению неисправности или, если это невозможно, оповестить персонал, обслуживающий ТП, об аварии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение представленной в статье системы позволило добиться целого ряда позитивных результатов.

- Повышение экономической и технической эффективности предприятия за счёт роста оперативности и качества управления объектами. Затраты на внедрение системы окупались в течение полутора лет эксплуатации.
- Повышение надёжности и эффективности управления ТП за счёт замены физически изношенных и мо-

рально устаревших телемеханических установок новым современным оборудованием на базе микропроцессорной программируемой техники и современных средств связи.

- Снижение эксплуатационных затрат на обслуживание системы управления, обусловленное централизацией управления, гибкостью конфигурации и настройки аппаратуры и программных средств.
- Обеспечение надёжной связи между центральным диспетчерским пунктом и ТП. Повышение оперативности доставки информации в центральный диспетчерский пункт о текущем состоянии технологического оборудования ТП.
- Повышение эргономичности рабочего места дежурного диспетчера за счёт применения современных графических и мультимедийных элементов человеко-машинного интерфейса.
- Снижение затрат времени на выработку дистанционных управляющих воздействий на ТП.
- Оперативное выявление аварийных ситуаций на ТП и автоматизированное проведение противоаварийных мероприятий.
- Сбор, накопление и обработка статистической информации о событиях переключений коммутационных аппаратов на каж-

дой тяговой подстанции, о количестве и видах отказов устройств автоматики, телемеханики и других технических средств. Создание эффективной системы диагностики и профилактики неисправностей.

- Постоянный и полный учёт конфигурации объектов мониторинга и управления, всех событий управления, измерения и сигнализации. Обеспечение безопасности хранимой информации. Контроль и разграничение доступа к сервисам и данным.
  - Повышение уровня качества и оперативности оформления отчётной документации о функционировании ТП.
  - Совершенствование энергетического аудита.
  - Интеграция с существующими на предприятии информационными сервисами и приложениями.
- Система демонстрировалась на международных выставках ComInfo-2007 (Кишинёв) и ПТА-2007 (Москва). ●

Авторы — сотрудники фирмы **SoftCom S.A.**

Телефон: (+373 22) 563-306

E-mail: svv@syscom.md

## ЛИТЕРАТУРА

1. Jatinder N.D., Sushil K. Intelligent Enterprises of the 21st Century. — Idea Group Publishing, 2004. — 350 p.
2. Чикликчи В.В., Сидоренко В.В., Кудряков А.В. Система управления тяговыми подстанциями муниципального транспортного предприятия // Международная научно-практическая конференция «СИ-ЭТ-2006». 22–26 мая 2006 г. — Одесса: [сб.трудов]. — Т. 1. С. 128.

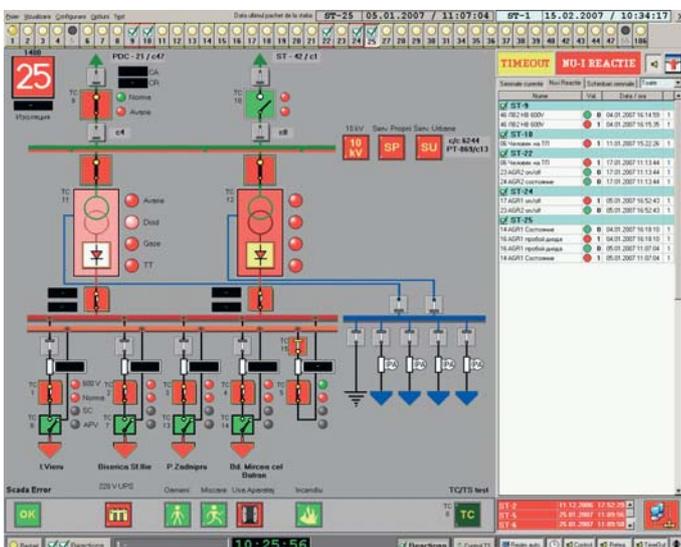


Рис. 8. Мнемосхема одной из тяговых подстанций

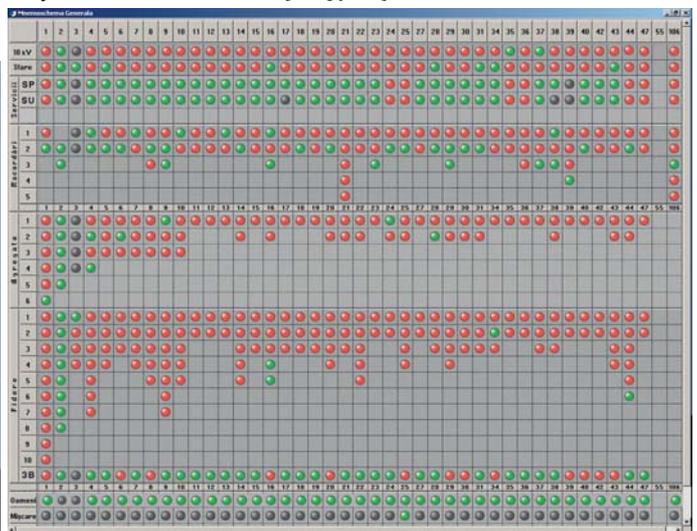


Рис. 9. Интерактивная таблица общего состояния всех ТП (красный цвет — объект включён, зелёный — объект отключён, серый — объект не управляется)