

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра Электроснабжения возобновляемых источников энергии

Специальность 6M071800 – Электроэнергетика

Допущен к защите


Зав. кафедрой


к.т.н., доцент Ефимова О.Н.

«___» _____ 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка

Тема Исследование передачи сигналов по станционной шине по протоколу МЭК 61850-08-1 GOOSE между интеллектуально-электронными устройствами РЗА в распределительных сетях 10-35 кВ в компании Шнейдер Электрик.

Магистрант  Ермурзаев А.М.
подпись (Ф.И.О.)

Руководитель
диссертации  д.т.н, профессор Трофимов Г.Г.
подпись (Ф.И.О.)

Рецензент _____ к.т.н, доцент Кельбасс С.В.
подпись (Ф.И.О.)

Алматы, 2017 г.

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Факультет Электроэнергетический
Специальность 6M071800 - Электроэнергетика
Кафедра Электроснабжения возобновляемых источников энергии

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Ермурзаеву Айгали Момбековичу
(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации: Исследование передачи сигналов по станционной шине по протоколу МЭК 61850-08-1 GOOSE между интеллектуально-электронными устройствами РЗА в распределительных сетях 10-35 кВ в компании Шнейдер Электрик.

утверждена Ученым советом университета № 148 от « 24 » октября 2016 г.
Срок сдачи законченной диссертации « 10 » июня 2017 г.

Цель исследования: Исследовать передачу сигналов по станционной шине по протоколу МЭК 61850-08-1 GOOSE между интеллектуально-электронными устройствами РЗА в распределительных сетях 10-35 кВ в компании Шнейдер Электрик.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

1. Анализ мировой тенденции создания интеллектуальной электроэнергетической системы.
2. Анализ протоколов связи в электроэнергетике.
3. Анализ передачи сигналов по протоколу GOOSE.
4. Исследование передачи сигналов по станционной шине по протоколу МЭК 61850-08-1 GOOSE между интеллектуально-электронными устройствами РЗА в распределительных сетях 10-35 кВ в компании Шнейдер Электрик.

Рекомендуемая основная литература

1. Ethernet & МЭК 61850. Общие понятия, реализация, ввод в эксплуатацию. Руководство по эксплуатации. 2. Реле защиты Sepam: Обмен данными по стандарту МЭК-61850, руководство по эксплуатации, редакция 10.2009г.3. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью [Электронный ресурс] // ОАО «ФСК ЕЭС». – Москва, 2012. – 51 с. Режим доступа: www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf (Дата обращения: 10.09.2015).

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1	Анализ мировой тенденции создания интеллектуальной электроэнергетической системы	20.11.15	выполнено
1.1	Основные технологические решения	11.12.15	выполнено
1.2	Особенности цифровых подстанций	15.01.16	выполнено
1.3	Обзор мировых тенденций развития ЦПС	29.02.16	выполнено
2	Анализ протоколов связи в электроэнергетике	14.03.16	выполнено
2.1	Существующие протоколы связи в электроэнергетике	01.04.16	выполнено
2.2	Анализ протоколов МЭК 61850	18.04.16	выполнено
2.3	Протокол GOOSE	18.05.16	выполнено
3	Анализ передачи сигналов по протоколу GOOSE	31.05.16	выполнено
3.1	Краткий обзор конфигурирования протокола GOOSE	02.09.16	выполнено
3.2	Процесс конфигурирования IED- устройств	21.09.16	выполнено
3.3	Настройки конфигурирования протокола МЭК 61850	03.10.16	выполнено
3.4	Структура ICD-файлах	18.10.16	выполнено
3.5	Структура SCD-файлах	28.10.16	выполнено
4	Исследование передачи сигналов по станционной шине по протоколу МЭК 61850-08-1 GOOSE между интеллектуально-электронными устройствами РЗА в распределительных сетях 10-35 кВ в компании Шнейдер Электрик.	01.11.16	выполнено
4.1	Методика эксперимента передачи GOOSE сигналов	21.11.16	выполнено
4.2	Анализ сетевой топологии	08.11.16	выполнено
4.3	Конфигурирование системы	28.12.16	выполнено
4.4	Процедура настройки обмена GOOSE-сообщениями	27.03.17	выполнено
	Оформление магистерской диссертации	10.06.17	выполнено

Дата выдачи задания _____ 1 ноябрь 2015 года _____

И.о заведующий кафедрой _____ (Башкиров М.В.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ (Трофимов Г.Г.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант _____ (Ермурзаев А.М.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аңдатпа

Бұл диссертацияда релелік қорғанысының және автоматиканың, Sepam-80 T87 және Sepam-80 T87 терминалдарымен оқу үрдісіне зертханалық стендті енгізу мақсатында электронды интеллектуалды-құрылғылардың арасындағы МЭК 61850 08-1 хаттамасы бойынша стансалық шинамен сигналдарды таратуды зерттеу қарастырылған.

Зерттеу жұмысы оқу үрдісіне енгізілген.

Аннотация

ВВ данной магистерской диссертации проведены исследования передачи сигналов по стационарной шине по протоколу МЭК 61850 08-1 между интеллектуально – электронными устройствами релейной защиты и автоматики, терминалами Sepam-80 T87 и Sepam-80 T87, с целью внедрения лабораторного стенда в учебный процесс.

Был внедрен экспериментальный комплекс в учебный процесс.

Annotation

In this master dissertation is described the signaling which have been researched by the station stripe on the protocol IEC 61850 08-1 GOOSE between intellectually – electronic devices of relay protection and automatic equipment Sepam-80 T87 and Sepam-80 T87 terminals, for the purpose of the laboratory stand implementation to educational process.

The experimental complex was introduced in educational process.

Содержание

Введение	6
1 Анализ мировой тенденции в развитии цифровой подстанции	8
1.1 Основные технологические решения	8
1.2 Особенности ЦПС	17
1.3 Сравнительная характеристика традиционных и цифровых подстанций	20
1.4 Обзор мировых тенденций развития ЦПС	24
2 Анализ протоколов связи в электроэнергетике	28
2.1 Существующие протоколы связи в электроэнергетике	28
2.2 Анализ протоколов МЭК 61850.....	30
2.4 Протокол GOOSE	39
3 Анализ передачи данных по протоколу GOOSE	48
3.1 Краткий обзор конфигурирования протокола GOOSE	48
3.2 Процесс конфигурирования IED-устройств.....	53
3.3 Настройки конфигурирования протокола МЭК 61850	56
3.4 Об ICD-файлах	58
3.5 О SCD-файлах.....	62
4 Исследование передачи сигналов по станционной шине по протоколу МЭК 61850 08-1 GOOSE между интеллектуально – электронными устройствами РЗА в распределительных сетях 10-35 кВ в компании Шнейдер Электрик	66
4.1 Методика эксперимента передачи GOOSE сигналов.....	66
4.2 Анализ сетевой топологии	67
4.3 Настройка конфигурации модуля связи ACE850	70
4.4 Настройка конфигурации протокола МЭК 61850 с помощью программы настройки конфигурации SET850.....	72
4.5 Процедура настройки обмена GOOSE- уведомлениями	75
4.6 Использование программы GOOSE Inspector Log.....	77
Заключение	79
Перечень сокращений.....	80
Список литературы.....	81

Введение

Прогресс инновации электрической энергетики направлено на создание интеллектуальной системы электроэнергетики с активной и адаптивной сетью. К основным элементам активной и адаптивной сети можно отнести подстанции, которые основываются на интегрированные цифровые системы измерения параметров электрической энергии, контролирование высоковольтными оборудованиями, устройства релейной защиты, средства автоматизации по противоаварийным случаям, регуляторы системы автоматики по управлению технологическими процессами, система учетов коммерции и управление качеством электрической энергии. По всему миру полная реализация постановление группы «цифровой подстанции», которая основывается по стандартам серии МЭК 61850, осуществляется технология управления «интеллектуальной сетью», это и объясняет актуальность выбора данной темы.

Переключение на передачу сигналов в числовом виде сигналов по всем уровням управления на всех уровнях управления подстанцией дает возможность приобрести более чем достаточные преимущества, к тому же: значительно уменьшить значения затрат на кабельную вторичную цепь, также каналы проводок, уменьшая расстояние источников цифровых сигналов к первичным оборудованию; увеличить электрически магнитную сочетаемость современных вторичных оборудований – устройства микропроцессор, также вторичных цепей, вследствие перехода на оптическую связь; упорядочить, в результате уменьшить стоимость конструкций микропроцессорного интеллектуального электронного устройства посредством устранения путей вводов сигнала аналогового типа; стандартизировать взаимодействий устройств IED, значительно облегчить взаимозаменяемость устройств.

В настоящее время, в связи с большими объемами информации про энергетическую систему, что регулярно обрабатывается на ПК, существует определенная проблема – огромное значение протоколов передачи данных среди интеллектуально-электронных устройств, обычно является специфическим для определенных регионов. Притом, преобразования одного протокола в иной без информационной потери собственно остается невозможным по причине разности в способах информационной обработки в каждом протоколе. Это привело к началу нескольких проектов по стандартизации международного класса.

Стандарт МЭК 61580 возможность создать подстанции нового поколения – цифрового типа, что могут быть компонентами умной сети, конкретнее, «интеллектуальной электрической энергосистемы с активной и адаптивной сетью». Введение МЭК 61850 создал возможности связывания всех технологических оборудований подстанции общей информационной сетью,

где дается не только данные от устройств измерения к терминалам автоматизированной РЗ, к тому же и управления сигналами.

Значима стандартизировать структуру хранения и название данных, так, как с помощью этого можно достичь сочетаемость во время обмена данных фирм производителей, к тому же при регулировании передачи данных между устройствами с помощью программного обеспечения, что создаются независимыми разработчиками.

Работа по исследованию передачи сигналов по протоколу МЭК 61850-8-1 (GOOSE) проводилась между устройствами автоматизированной релейной защиты Seram-80 T87 и Seram-80 T87 (терминалы дифференциальной защиты трансформаторов) с портами для оптического присоединения, модуль связи Schneider Electric ACE850FO, коммутатор компании SIEMENS OSM TP62 по топологии – «звезда». Исследования проводились на базе разработанных стендов кафедрой ЭПП (электрообеспечение промышленных предприятий) НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи» в лаборатории релейной защиты. После приобретения и монтажа оборудования на ранее разработанном стенде компании Schneider Electric, появилась возможность реализовать многие преимущества цифровой подстанции, заменяя все медные кабели на значительно меньшее количество оптоволоконных кабелей для исследования передачи сигналов между терминалами по шине процесса и станционной шине.

1 Анализ мировой тенденции в развитии цифровой подстанции

1.1 Основные технологические решения

Современные производственные технологии модернизированной системы управления переключились из стадии научных исследовательских и экспериментальных работ в период использования на практике. Создаются и вводятся текущие показатели стандартов по коммуникации информационного обмена информацией. Автоматические и защитные устройства цифрового типа масштабно используются. В системах управления возникли. Произошло значительное развитие средств аппарата и программ систем управления. Возникновение новых стандартов международного типа и развитие современных информационных технологий дают возможность новейших подходов к решению вопросов автоматизации и управления энергетическими объектами, что позволяет создавать новые подстанции – подстанции цифрового типа (ЦПС). Знаменательными параметрами ЦПС являются: наличие встроенных в первичные оборудования устройств интеллектуального микропроцессорного типа, использование локальных вычислительных коммуникационных сетей, цифровой метод к информационному доступу, её транслирование и отделки, осуществление автоматизированной работы подстанции и процессов управления. Будущность ЦПС остается ключевым элементом интеллектуальной сети (*Smart Grid*).

По сей день разные специалисты в сфере систем автоматизации и управления различно трактует обозначения термина «Цифровой подстанции». Чтобы разобраться в технологии и стандарты относятся к ЦПС, рассмотрим историю совершенствования систем автоматического управления технологическими процессами (АСУ ТП) и РЗ, также автоматики (РЗА). Начало введения автоматизированных систем взялось в связи с появлением телемеханических систем. Телемеханические устройства (ТМ) позволили собрать сигналы аналогового и дискретного типов, тем самым используя модули устройства связи с объектами (УСО), также преобразователей измерения. На основе телемеханической системы совершенствовались первые АСУ ТП электроподстанций и электрических станций. АСУ ТП позволили не только подбирать информацию, но также совершать отделку, к тому же представляли информацию в комфортном интерфейсе для пользователей. При появлении первой релейной защиты микропроцессорного типа, появилась возможность для интегрирования информации от данных устройств в системы АСУ ТП. Со временем число устройств с цифровым интерфейсом повысилось (противоаварийная автоматика, системы мониторинга силовых оборудования, системы мониторинга щита постоянного тока и собственных нужд и т.п.). Все данные информации от устройств нижнего уровня передавались в АСУ ТП по интерфейсам цифрового типа.

Невзирая на широкое использование технологий цифрового типа для формирования автоматизированных систем, такого типа подстанции не

считаются полноценными цифровыми, поскольку исходная информация, состояние блокирующих контактов, напряжение и ток, интегрируются как аналоговые сигналы от распредустройств в оперативных пунктах управления. В этом месте и оцифровывание каждого устройства что входит в нижний уровень. К примеру, известно что все устройства что входит в нижний уровень трансформируют одно и тоже напряжение в цифровой вид, далее передают в АСУ ТП. Разные подсистемы применяют разные стандарты (протоколы) коммуникации, также модели информации на подстанциях традиционного типа. Предусматривается выполнение взаимодействие индивидуальных измерительных и информационных систем для функционирования защит, измерений, учет, контроля качества, так как это приводит к значительному увеличению сложности осуществления автоматизированной системы и ее показатель стоимости.

К переходу на качественные новые автоматизированные системы и систем управления, где есть возможность использования протоколов, также технологии ЦПС, к этому можно отнести:

1. Стандарты МЭК 61850:

- тип модели данных устройств;
- унифицированная дефиниция подстанции;
- виды протоколов: вертикальных (*MMS*) и горизонтальных (*GOOSE*) обмен;
- стандарты передачи моментальных значений тока и напряжения (*SV*);

2. трансформаторы тока и напряжения цифрового типа (оптические и электронные);

3. Мультиплексоры аналогового типа (*Merging Units*);

4. Модули выносного типа *YCO (MicroRTU)*;

5. Интеллектуальные и электронные устройства (ИЭУ).

Регламентирование вопросов по передаче информации между разными устройствами, также формирования дефиниции схем - подстанций, защит, автоматики, измерений и конфигурации устройств является одним из главных особенностей и отличий стандартов МЭК 61850 "Сети и системы связи на подстанциях". Возможность использования новейших устройств измерения цифрового типа, исключает использование аналоговых измерительных устройств, к примеру трансформаторы тока и напряжения. Формирование информационных технологий позволяет применять автоматизированное проектирование ЦП, которые управляют системами цифрового интегрированного типа. Все информационные связи на таких подстанциях выполняются цифровыми, образующими единую шину процесса. Такой способ дает возможность мгновенной прямой передачи информации между разными видами устройств, что, в заключении, даёт возможность уменьшить количество медных кабельных связей, также количество устройств, и более плотной локализации.

Цели формирования ЦП:

- Унифицирование информационных стандартов для обмена данными;

- Осуществление возможности взаимодействия устройств.
- Уменьшение управления кабелем.
- Снабжение обзорности сборных каналов, транслирование и управления.
- уменьшение потерь в метрологии во вторичных цепях.
- облегчение способов репликации первичной информации.
- облегчение механизмов контроля устройств.
- использование устройств с обновляемыми программными обеспечениями.
- унифицирование механизмов конфигурации подстанции.
- формирование единой диагностической системы. Перейдите к удаленной функциональной диагностике.
- обеспечение информационной безопасности энергетического объекта.
- переход на необслуживаемые подстанции.

Следует рассмотреть подробную конструкцию ЦП, которая выполнено согласно стандартам МЭК 61850 (рисунок 1.1).

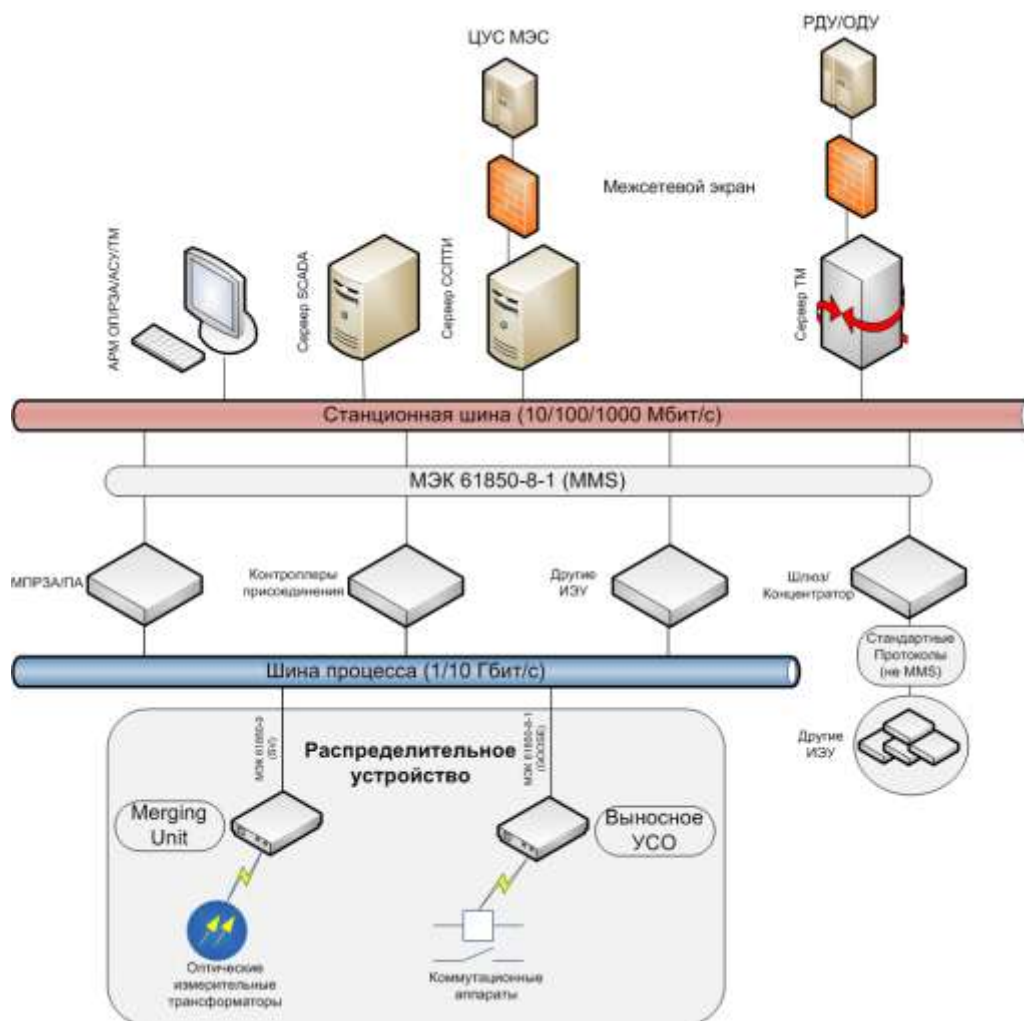


Рисунок 1.1 - Конструкция ЦПС

Инновационная концепция формирования электрической энергетики рассчитывает формирование подстанций, что основывается на интегрированных цифровых системах измерения параметров электрической энергии, управления высоковольтным оборудованием и РЗ [2-5]. Такие подстанции называются цифровыми.

Согласно стандарту международного типа IEC 61850 ЦП имеет 3 степени управления, которых можно увидеть на рисунке 1.1:

1. Полевая степень, включает в себя высоковольтные оборудования (к примеру, силовой трансформатор, выключатель, разъединитель и т.п.) с установленными микропроцессорными диагностическими системами, трансформаторы измерения тока и напряжения, устройства сопряжения с шиной процесса (устройства для объединения или Merging Unit) и шиной станции (модули выносного типа УСО), шины процесса и иные оборудования, представленные на рисунке 1.1. Под шиной процесса подразумевается общая информационная сеть, которая соединяет первичные измерительные оборудования подстанции и подстанционные системы автоматизации. Информационная передача по шине процесса производится в соответствии со стандартом IEC 61850. По шине процесса непрерывно передается информация, которая описывает форму и виды кривых тока и напряжения разных присоединений в настоящем времени.

2. Степень присоединения, что включают терминалы РЗ и автоматизации, противоаварийную автоматизацию, устройства определения качества электрической энергии, коммерческий учет электроэнергии, телемеханики, детерминирование мест повреждений и иные виды устройств подстанционных систем автоматизации.

3. Уровень подстанции, что включают систему автоматизированного управления технологическими процессами, также шину станции. Данные о локации коммутационных оборудования, состоянии подстанционных оборудования, их параметры и управляющие команды (дискретная информация) отправляются с помощью GOOSE-уведомлений по шине станции в соответствии со стандартом IEC 61850-8.1. Дискретная информация о функционировании оборудования подбирается с помощью модулей выносного типа УСО, которые устанавливаются в непосредственной близости от высоковольтных оборудования. Также модули УСО выносного типа используются для чтобы выполнение управления коммутационных аппаратов.

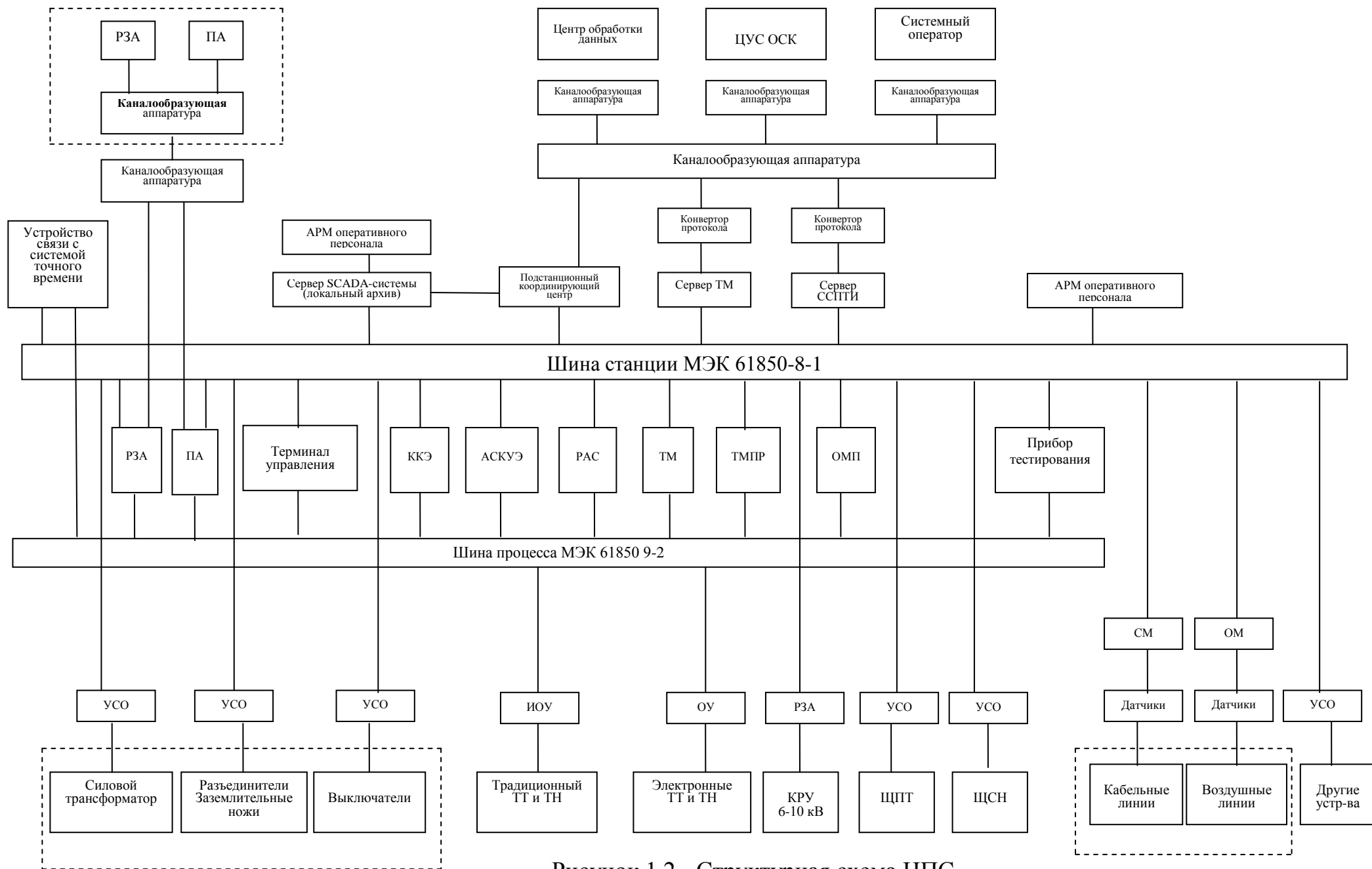


Рисунок 1.2 - Структурная схема ЦПС

Раскроем значения обозначений на рисунке 1.2: УСО – устройства связи с объектами; ИОУ – измерительные объединяющие устройства; ОУ – объединяющие устройства; СМ – мониторинговые системы; РЗА – релейная защита и автоматика; ПА – противоаварийная автоматика; ККЭ – контроль качества электрической энергии; АСКУЭ – системы автоматизации для коммерческих учетов электрической энергии; РАС – регистрация аварийных событий; ТМ – телемеханика; СМПР – система мониторинга переходного режима; ОМП – определение мест повреждения; АРМ – автоматизированные рабочие места; ССПТИ – системы сборов и передач технологической информации.

Применение цифрового и унифицированного типа интерфейсов сбора и передачи информации вместо аналоговых остается одним из принципиальных отличий цифровых подстанций от традиционных:

1. Уменьшение кабельного хозяйства подстанции, расположение преобразователей аналоговых сигналов в цифровые в непосредственной близости с первичными устройствами.

2. Упрощение устройств микропроцессорного типа (за счет исключения трактов ввода аналоговых сигналов) и их взаимозаменяемости.

3. Увеличение электрической и магнитной сочетаемости устройств микропроцессорного типа и вторичных цепей с помощью перехода на оптические каналы передачи информации, которая способствует уменьшению погрешности показателей измерения тока и напряжения и исключает возможности выноса высокого потенциала с места КЗ на щит управления по вторичным цепям.

4. Увеличение контроля и диагностики оборудования и каналов сбора, информационные передачи и управления.

5. Уменьшение численности обслуживающего персонала на подстанции.

6. Наличие возможности подключения огромного числа устройств, которые используют первичные данные о токах и напряжениях. Применение цифровых технологий передачи информации дают возможность решить проблему убывания точности измерения во время подключения новых потребителей данных к вторичным цепям измерительных трансформаторов тока и напряжения.

7. Сокращение затрат на проектирование, монтаж и пуско-наладку и др. Важное место, как на традиционной, так и на цифровой подстанции занимают измерительные трансформаторы тока и напряжения, которые передают первичную информацию, на которых основывается управление устройствами и режимами работы подстанции.

В рамках проекта ЦПС имеются возможности осуществления 3 различных принципа организации передачи данных от первичных измерительных преобразователей тока и напряжения системам РЗА, коммерческого учета электрической энергии и другим потребителям информации метрологии (показано на рисунке 1.3):

1. Применение традиционного трансформатора тока и напряжения с измерительными устройствами для объединения (ИОУ), которые выполняют

преобразования аналоговых сигналов в цифровые и передающих их на общую шину процесса; устройства РЗА получают данные о значениях тока и напряжения с общей шины процесса (представлено на рисунке 1.3, б).

2. Использование трансформаторов, имеющих цифровой интерфейс (электронных трансформаторов), с объединяющими устройствами (рисунок 1.3, в); устройства РЗА получают данные об измеренных токах и напряжениях с общей шины процесса.

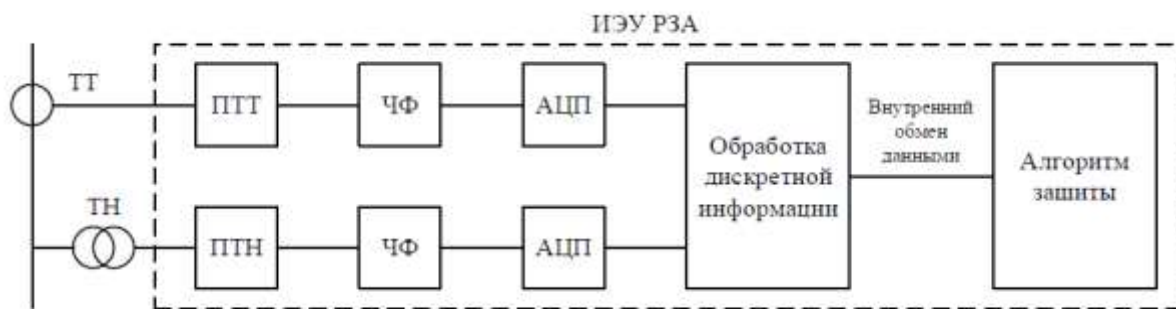
3. Устройства РЗА получают данные об измеренных токах и напряжениях по отдельной выделенной линии передачи цифровой информации (рисунок 1.3, г).

Преобразование измеренных токов и напряжений в цифровой сигнал непосредственно в месте установки измерительных трансформаторов позволяет исключить дополнительные погрешности, возникающие за счет электромагнитных наводок, использования разделительных трансформаторов при передаче измерений по аналоговым медным кабелям, и вынос высокого потенциала с места короткого замыкания на щит управления.

Однако, такое решение, как установка устройств преобразования аналогового сигнала в цифровой совместно с традиционными ТТ и ТН не решает проблемы в полной мере, ведет к удорожанию реконструкции, необходимости размещения дополнительного оборудования на территории открытого распределительного устройства. Возможным решением данной проблемы является использование электронных трансформаторов, имеющих цифровой интерфейс.

Применение информационной сетевой технологии в ответственных выходных цепях вызывает у специалистов опасения по надежности и устойчивости функционирования. Решением данной проблемы является прямое подключение трансформаторов тока и напряжения к устройствам релейной защиты и автоматики по цифровым цепям.

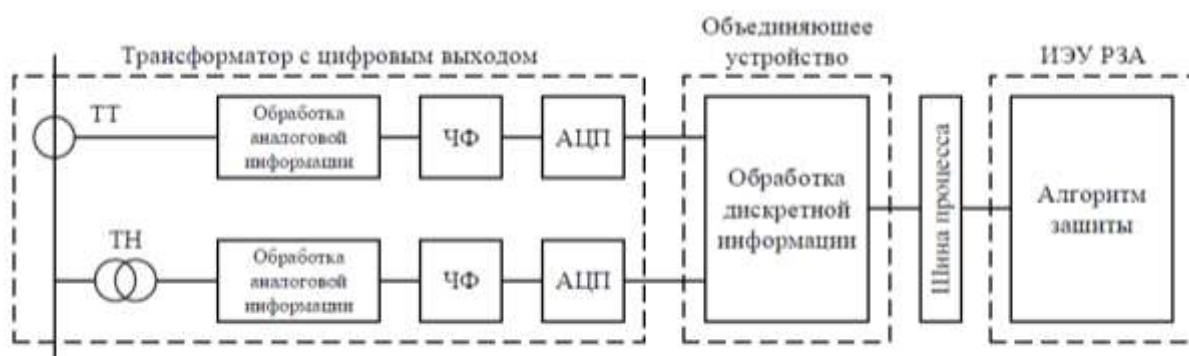
Электромагнитные трансформаторы напряжения не обеспечивают свой метрологический класс точности при перегрузках по вторичным цепям. Вторичные цепи аналоговых трансформаторов напряжения подвержены электромагнитным наводкам, что вносит дополнительную погрешность в измерения, и ставит проблему достоверной передач коммерческих учетных данных с точек учета в базу данных централизованной системы коммерческого учета оптового рынка электрической энергии. Из-за низкого класса точности трансформаторы напряжения не позволяют проводить корректные измерения электроэнергии в точках учета на границе балансовой принадлежности электроустановок генерирующих и сетевых компаний, а также сетевых компаний и потребителей, что приводит к небалансам как мощности, так и электроэнергии. Не исключают они также и выноса высокого потенциала с открытого распределительного устройства на щит управления по вторичным цепям. Большинство из них является маслонаполненными, следовательно, взрывоопасными и пожароопасными.



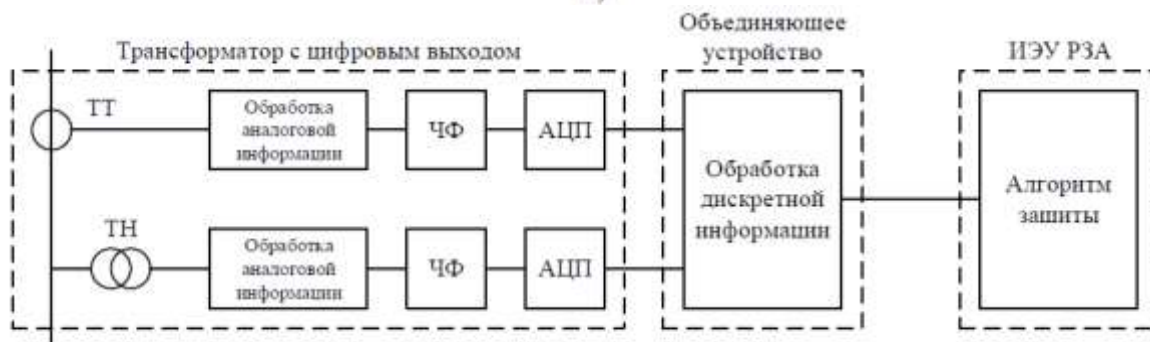
а)



б)



в)



г)

а – традиционная подстанция; б, в, г – цифровая подстанция
 ПТТ, ПТН – промежуточные трансформаторы тока и напряжения, соответственно;
 ЧФ – частотный фильтр; АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
 ИЭУ – интеллектуальное электронное устройство

Рисунок 1.3 – Принципы организации передачи информации от первичных преобразователей тока и напряжения устройствам-потребителям метрологической информации

Работа обычных электрических и магнитных трансформаторов напряжения во время переходных процессов может привести к возникновению ферро-резонансных явлений, которые, в свою очередь, приводят к неправильной работе электроэнергетического оборудования, выходу его из строя, развитию крупных аварий. Возникновение феррорезонанса возможно при наличии емкостных элементов в цепи индуктивного трансформатора напряжения и связано с насыщением магнитного провода, изменением индуктивности намагничивания трансформатора [15,16, 17].

Узкий частотный диапазон современных электромагнитных трансформаторов напряжения накладывает некоторое ограничение на развитие систем релейной защиты, автоматики и методов определения мест повреждений.

Требования к измерительным трансформаторам напряжения для ЦПС.

Выполненный анализ вариантов структур цифровой подстанции позволяет сформулировать требования к измерительным трансформаторам напряжения [18]:

1. Цифровые измерительные трансформаторы напряжения должны передавать данные по протоколу IEC 61850-9.2LE.

2. Передача данных от цифровых измерительных трансформаторов напряжения должна осуществляться по оптоволоконным кабелям, соответствующим требованиям IEC 60794.

3. Цифровые измерительные трансформаторы напряжения для синхронизации выборок должны иметь возможность принимать внешний сигнал синхронизации.

4. Цифровой измерительный трансформатор напряжения должен выполнять самодиагностику и при обнаружении неисправности установить флаг о недостоверности данных на цифровом канале.

5. При отказе системы передачи данных цифровой измерительный трансформатор напряжения должен автоматически формировать соответствующий сигнал о неисправности.

6. Первичный преобразователь цифрового трансформатора напряжения должен соответствовать следующим требованиям:

- высокая точность преобразования напряжения;
- отсутствие феррорезонансных явлений;
- возможность подключения к объединяющим устройствам (при использовании на цифровой подстанции) и микропроцессорным терминалам релейной защиты и автоматики (при использовании на традиционной подстанции);
- широкий частотный диапазон измерения;
- взрывобезопасность и пожаробезопасность.

1.2 Особенности ЦПС

Наличие нового "полевого" уровня "цифровой подстанции" является одним из первых особенностей при построении автоматизированной системы. Он состоит из инновационных устройств первичной сборки информации. К примеру, УСО выносного типа, трансформаторы измерительные цифрового типа, встроенные микропроцессорные диагностические системы силовых оборудования и т.п.

Цифровые измерительные трансформаторы передают моментальные значения напряжений и токов по протоколу МЭК 61850-9-2 устройствам уровня присоединения [19]. Имеются 2 типа цифровых измерительных трансформаторов: оптические и электронные. Оптические измерительные трансформаторы (на рисунке 1.4) остаются одними из предпочтительных при создании систем управления и автоматизации «ЦПС», поскольку используется новейший принцип измерения, который исключает влияние электромагнитных помех, потому, что основан на эффекте Фарадея. Это магнитный и оптический эффект, заключающееся в том, что при распространении линейно поляризованного света через оптически неактивные вещества, которые находятся в диапазоне магнитного поля, где идет наблюдение вращение плоскости поляризации света, который зависит от величины данного магнитного поля [20].

Электронные измерительные трансформаторы разрабатываются на основе трансформаторов традиционного типа, также применяются специализированные преобразователи аналогово-цифрового типа.

Конструкция ТТЭО

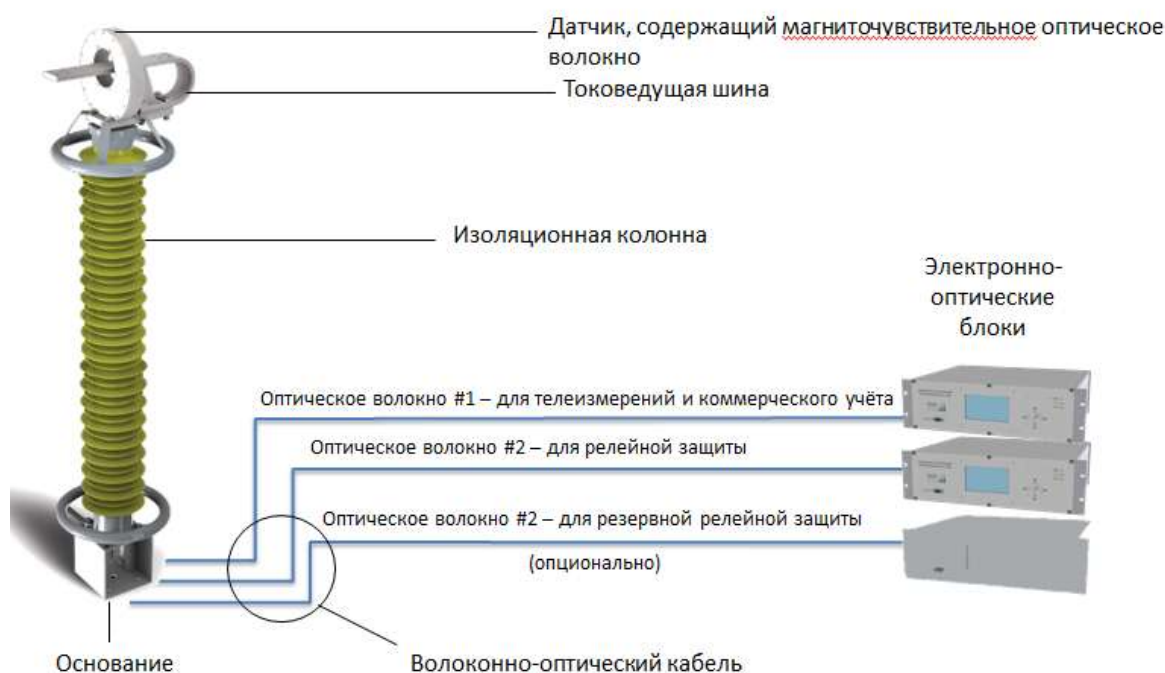


Рисунок 1.4 - Трансформатор тока электронный оптический

Информация от измерительных трансформаторов традиционного типа трансформируются в широковещательные *Ethernet*-пакеты с применением мультиплексоров (*Merging Units*), которые предусматриваются стандартами МЭК 61850-9. Преобразованные мультиплексором пакеты переходят по сети *Ethernet* (шине процесса) в устройства уровня присоединения (контроллеры АСУ ТП, РЗА, ПА и др.).

Информация о локации аппаратов для коммутации и другой тип дискретной информации (положение ключей режима управления, состояние цепей обогрева приводов и т.п.) собираются с применением модулей выносного типа УСО, которые устанавливаются в непосредственной близости от коммутационных аппаратов. Выносные модули УСО имеют релейные выходы для управления коммутационными аппаратами. Модули выносного типа УСО синхронизируются с точностью не менее чем 1 мс. Передача данных от модулей выносного типа УСО воспроизводится по оптоволоконной связи, являющейся частью шины процесса по протоколу МЭК 61850-8-1 (*GOOSE*). Передача команд управления на коммутационные аппараты также воспроизводится через модули выносного типа УСО с применением протокола МЭК 61850-8-1 (*GOOSE*).[21]

К тому, же силовые оборудования оснащаются наборами цифровых датчиков. Имеются специализированные мониторинговые системы трансформаторных и элегазовых оборудований, имеющие цифровые интерфейсы для интегрирования в АСУ ТП, не используя дискретные входы и датчики 4-20 мА. Современные КРУЭ снабжаются встраиваемыми цифровыми трансформаторами тока и напряжения, а шкафы управления в КРУЭ дают возможность устанавливать выносные УСО для сбора дискретных сигналов. Установка цифровых датчиков в КРУЭ производится на заводе-изготовителе, позволяющие упрощать процесс проектирования и монтажно-наладочные работы на объекте.

Возможность объединения средних (концентраторов данных) и верхних (сервера и АРМ) уровней в схеме традиционного типа автоматизации в один стационарный уровень в конструкции цифровой подстанции является следующей особенностью. Это связано с единством протоколов передачи данных (стандарт МЭК 61850-8-1), при котором средний уровень, ранее выполнявший работу по преобразованию информации из разных форматов в общий формат для интегрированной АСУ ТП, постепенно теряет свое назначение.

Уровень присоединения включает в себя интеллектуальные электронные устройства, которые получают информацию от устройств полевого уровня, выполняют логическую обработку информации, передают управляющие воздействия через устройства полевого уровня на первичное оборудование, а также осуществляют передачу информации на стационарный уровень. К этим устройствам относятся контроллеры присоединения,

терминалы МПРЗА и другие многофункциональные микропроцессорные устройства.

Третья особенность – структура ЦПС имеет высокую степень гибкости. Устройства для ЦПС должны быть сделаны по модульному принципу, позволяя совмещать в себе функции множества устройств. Гибкость построения ЦПС дает возможность предложить разные решения с учетом особенностей энергетических объектов. В случае модернизации существующей подстанции без замены силовых оборудования для сбора и оцифровывания первичных данных следует установить шкафы выносного типа УСО. При этом выносные УСО помимо плат дискретного ввода/вывода имеют при себе платы прямого аналогового ввода (1/5 А), позволяющие собирать, оцифровывать и выдавать в протоколе МЭК 61850-9-2 данные от трансформаторов тока и напряжения традиционного типа. Далее полная или частичная замена первичных оборудования, в том числе замена электромагнитных трансформаторов на оптические, не приведет к изменению уровня присоединения и подстанционного уровня. В случае использования КРУЭ приводит возможности совмещения функций выносных УСО, *Merging Units* и контроллера присоединения. Такое устройство устанавливается в шкаф управления КРУЭ и позволяет оцифровывать все исходные данные (аналоговую или дискретную), к тому же выполнять функции контроллера присоединения и функции резервного местного управления.

К преимуществам осуществления проектов «ЦПС» можно отнести:

- наличие помехозащищенности, высокой пожарной безопасности, взрывобезопасности и экологичности.
- применение инновационных и современных стандартов и решений, которые обеспечивают совместимость различных ИЭУ (МЭК 61850).
- улучшение точности измерений.
- значительное уменьшение кабельных связей.
- уменьшение объема работы по монтажу и наладки, простота проектирования, использования и обслуживания, сокращение габаритов подстанции.
- сокращение числа модулей ввода/вывода на устройствах АСУТП и РЗА.
- снижение стоимости компоновки конструктивных шкафов системы ТМ / ССПИ / АСУТП (кабельная продукция, клеммные колодки и пр.).

Формирование таких проектов «ЦПС» является невозможным, если не применять протокол МЭК 61850, который является основным из всех цифровых коммуникаций в рамках энергетических объектов.

1.3 Сравнительная характеристика традиционных и цифровых подстанций

Сравнивая «ЦПС» - подстанций с использованием цифровых оптических трансформаторов тока и напряжения, шины процесса МЭК 61850 и интеллектуальных электронных устройств, и подстанций традиционного исполнения – на базе электромагнитных измерительных трансформаторов и автоматизированных устройств с подключением к измерительным обмоткам ТТ и ТН, следует оценивать все этапы жизненного цикла оборудования и связанные с ними характерные особенности. В таблице 1.1 приводится ряд главных этапов и соответствующие отличия для 2 вариантов построения автоматизированных систем.

Таблица 1.1 Сравнение построения автоматизированных систем традиционных и цифровых подстанций.

	Традиционные решения на базе медных кабелей	Шина процесса МЭК 61850
Оборудование (материалы)	<ul style="list-style-type: none"> - разные типы оборудования и материалов закупаются и устанавливаются как отдельные специализированные компоненты системы - требования к типу и числу оборудования отличаются от расположения к расположению и зависят от монтажа 	<ul style="list-style-type: none"> - состав оборудования лимитирован набором стандартных компонентов системы - оборудования общие для разных ПС - большая часть системы может быть собрана в управляемой среде - высокая начальная стоимость внедрения и значительно сниженная стоимость внедрения на смежных подстанциях - убавление габаритов здания ОПУ за счет сокращения большого числа медных кабелей, лотков, панелей и т.д.
Разработка (проектирование)	<ul style="list-style-type: none"> - огромное число разных схем, в основном они отличаются по физическим соединениям медных кабелей. - разные аппараты и топология требуют специализированной разработки - изменения в схеме объекта приводят к значительной ручной работе по изменениям в схеме соединений кабелей. 	<ul style="list-style-type: none"> - физические интерфейсы между объединяющими устройствами (<i>MergingUnit</i>) и ИЭУ стандартизированы - маленькие физические разнообразия в отображении источников и приемников сигналов и информации - огромная часть разнообразия перешла в настройку ПО - прошивка, конфигурация и другие инженерные задачи значительно упростились

	Традиционные решения на базе медных кабелей	Шина процесса МЭК 61850
Разработка чертежей	<ul style="list-style-type: none"> - необходимо проделать большую работу для документирования электрических соединений - модификация и дополнение требуют потенциального большого числа чертежей - ручное создание чертежей чревато ошибками и требует постоянных перепроверок. 	<ul style="list-style-type: none"> - документирования требуют физические соединения с первичным оборудованием, которые могут быть стандартизированы для различных аппаратов и могут поставляться при закупке соответствующего оборудования - документирование сильно упростилось, благодаря использованию соединений точка-точка, которые могут быть описаны в табличной форме - упрощается автоматическое создание документации с помощью ПО
Монтаж	<ul style="list-style-type: none"> - много работы, требующей большого количества времени, надо проделывать на месте, при этом, работа высокооплачиваемая, а производительность низкая и зависит от ошибок - некоторые улучшения достигаются при использовании заранее собранных и протестированных управляющих шкафов, однако, сохраняется разнообразие при подключении кабелей 	<ul style="list-style-type: none"> - монтаж сильно упрощается из-за кабельных соединений, которых в принципе нет, если объединяющее устройство устанавливается вместе с аппаратом - возможность ошибки сильно снижается, благодаря стандартизированным физическим соединениям - установка шкафов управления упрощается, с помощью упрощенного интерфейса

Продолжение таблицы 1.1

	Традиционные решения на базе медных кабелей	Шина процесса МЭК 61850
Пуско-наладочные работы	<ul style="list-style-type: none"> - проверка каждого сигнала, передаваемого по медному кабелю, должна осуществляться между распределительным устройством и ИЭУ - ошибки в физических соединениях независимо от источника требуют выявления и переделки 	<ul style="list-style-type: none"> - постоянный мониторинг позволяет избежать ошибочной работы - ошибки в монтаже ограничены проблемами связи между источником и получателем информации - в здание ОПУ не заводятся кабели под напряжением, опасным для жизни человека, что повышает безопасность персонала
Дальнейшая поддержка	<ul style="list-style-type: none"> - поддержка (плановый предупредительный ремонт) осуществляется согласно календарю, за исключением случаев ошибочной работы - требуется проверка изоляции от высоковольтных сигналов первичного оборудования - ремонт поврежденной в определенных панелях изоляции может привести к ошибочному срабатыванию защит 	<ul style="list-style-type: none"> - постоянный мониторинг и резервируемые измерения позволяют осуществлять проверку не по календарю, а по событию - постоянный мониторинг позволяет избежать ошибочного срабатывания защит - работа персонала более безопасная из-за отсутствия напряжения
Изменения на РУ	<ul style="list-style-type: none"> - изменения на РУ приводят к значительному изменению контрольных кабелей и их прокладки - необходимо время для того, чтобы осуществить эти изменения, и соответствующие финансовые издержки, зависящие от разнообразия физических соединений медным кабелем - перерыв в работе возникает из-за ограниченного количества кабелей, которые необходимо удалить из лотков 	<ul style="list-style-type: none"> - несколько ядер позволяют объединяющим устройствам иметь свободные точки подключения, которые можно использовать для новых устройств - каждая область на объекте может быть индивидуально разработана и собрана без влияния на смежные области перед окончательной проверкой

Окончание таблицы 1.1

	Традиционные решения на базе медных кабелей	Шина процесса МЭК 61850
Управление проектом	<ul style="list-style-type: none"> - большое количество ручной работы приводит к длинному периоду проектирования, сборки и пуско-наладки - большое количество приемок между этапами проекта замедляет работу над проектом 	<ul style="list-style-type: none"> - этапы закупки, разработки и монтажа более стандартизированы и требуют меньшего количества приемок, что повышает производительность - планирование и принятие решений сильно упрощается, так как детальная проработка может быть выполнена без знания о конкретных физических деталях
Оперативное обслуживание	<ul style="list-style-type: none"> - требуется периодическое тестирование защит и автоматики - выявление неисправностей и замена отказавших компонентов требуют определенного промежутка времени и потенциально увеличивают время простоя оборудования 	<ul style="list-style-type: none"> - резервирование и самомониторинг уменьшают или исключают необходимость в периодической проверке оборудования - разъемные соединения, отсутствие внутренних установок в объединяющих устройствах упрощают быструю замену, не требуя длительного периода работ

1.4 Анализ мировых тенденций развития цифровых подстанций

Внедрение систем автоматизации и управления ПС является сложной задачей, что практически нелегко стандартизировать. Появление новых стандартов международного типа и информационных технологий дают возможность для современных подходов к решению данного вопроса, что позволяет формировать новый вид ЦП. Широкие перспективы в этом направлении открывают группы стандартов МЭК 61850.

Основной особенностью и отличием стандарта МЭК 61850 является то, что в нем регламентируются не только вопросы передачи информации между отдельными устройствами, также и вопросы формализации описания схем подстанции и защиты, автоматики и измерений, конфигурации устройств. В стандарте предусматриваются возможности использования новых цифровых измерительных устройств вместо традиционных аналоговых измерителей

(трансформаторов тока и напряжения). Информационные технологии дают возможность на переход к автоматизированному проектированию ЦП, которые управляются системами цифрового интегрированного типа. Все информационные связи на таких подстанциях выполняются цифровым способом, которые составляют общую шину процесса. Этот способ предоставляет возможность быстрого прямого обмена информацией между устройствами, что дает возможность сокращения количества кабельных связей, уменьшения количества устройств микропроцессорного типа и более удобного расположения.

На всех этапах реализации экономичными являются технологии цифрового типа: при проектировании, монтаже, наладке и в эксплуатации. Они обеспечивают возможность расширения и модернизации системы в процессе эксплуатации.

Сегодня во всем мире выполнено уже много проектов, связанных с применением стандарта МЭК 61850, показавших преимущества данной технологии. Вместе с тем ряд вопросов еще требует дополнительных проверок и решений. Это относится к надежности цифровых систем, к вопросам конфигурирования устройств на уровне подстанции и энергообъединения, к созданию общедоступных инструментальных средств проектирования, ориентированных на разных производителей микропроцессорного и основного оборудования.

Первым крупным пилотным проектом по внедрению стандарта МЭК 61850 стала подстанция *TVA Bradley* 500 кВ США, введенная в эксплуатацию в 2008 г. Цель проекта заключалась в проверке совместимости реализации стандарта МЭК 61850 в устройствах различных производителей. Внедрение проекта позволило улучшить совместимость между устройствами различных производителей, повысить квалификацию персонала сетевой компании в части стандарта МЭК 61850, а также выявить проблемы, возникающие при его внедрении.

В 2009 г. в Испании была завершена работа над пилотным проектом подстанции *Alcala de Henares* 132 кВ (г. Мадрид). В реализации проекта также использовались устройства различных производителей. Особенностью данного проекта являлось экспериментальное внедрение «Шины процесса» в части передачи дискретной информации. Системы релейной защиты и автоматики и АСУ ТП на подстанции можно условно разделить на 4 уровня: верхний, станционный, уровень присоединения, (устройства МПРЗА и контроллеры присоединения) и полевой, включающий приборы, установленные на распределительном устройстве.

В непосредственной близости с коммутационными аппаратами на распределительном устройстве были установлены выносные модули УСО (*MicroRTU*), которые с помощью оптических кабелей подключались к коммутаторам, установленным в ОПУ. Все информация о состоянии коммутационных аппаратов, а также команды управления ими передавались по цифровым каналам связи (с помощью *GOOSE*-сообщений). На *MicroRTU* была реализована лишь простейшая логика с целью повышения надежности

этих устройств. Функции оперативной блокировки были реализованы в устройствах уровня присоединения. Таким образом, на подстанции были внедрены следующие виды информационных потоков:

- вертикальный *GOOSE* для обмена информацией между *MicroRTU* и устройствами уровня присоединения;
- диагональный *GOOSE* для обмена информацией между *MicroRTU* одного присоединения и устройствами защиты и управления другого (например, для быстрого информирования этих устройств об отказе выключателя);
- горизонтальный *GOOSE* для обмена информацией между устройствами уровня присоединения (для целей организации оперативных блокировок, пуска осциллографа и т.д.);
- передача динамической информации по протоколу *MMS* от устройств уровня присоединения на станционный уровень;
- команды управления со станционного уровня на уровень присоединения по протоколу *MMS*.

Команды управления проходили через контроллеры присоединения, которые транслировали эти команды в *GOOSE*- уведомления для *MicroRTU*, что позволяло на уровне контроллеров присоединения осуществить функции оперативной блокировки.

На подстанции *Alcala de Henares* не были внедрены цифровые трансформаторы тока и напряжения. Однако, проект является крайне интересным с точки зрения использования «Шины процесса» для передачи дискретной информации.

Тестирование цифровых трансформаторов тока и напряжения в реальных условиях работы происходило на подстанции *Osbaldwick* 400 кВ, которая принадлежит национальной сети *NGT U.K.* Проводились эксперименты, цель которых заключалась в сравнении временных характеристик МПРЗА на базе традиционных трансформаторов тока и МПРЗА на базе цифровых трансформаторов тока с использованием *Mergin Units* (устройств, передающих информацию о моментальных значениях токов и напряжений по протоколу МЭК 61850 – 9). Результаты показали хорошие эксплуатационные характеристики цифровых трансформаторов и МПРЗА, построенных на цифровых технологиях.

Большое развитие цифровые подстанции получили в Китае. В 2006 г. была введена в эксплуатацию первая цифровая подстанция 110 кВ *Qujing, Yunnan*. К 2009 г. Китай занял лидирующее место в мире по цифровым подстанциям, введя в эксплуатацию 70 подстанций. Ожидается, что рынок цифровых подстанций в Китае вырастет до 4 - 4,5 млрд. юаней в год за ближайшие 10 лет [22].

Зарубежный опыт введение системы на основе стандартов МЭК 61850 показал, что на улучшенном этапе следует уделять значительное внимание к задачам надежности всей цифровой совокупности устройств подстанции. Первым делом все устройства должны пройти первое тестирование для функционального соответствия стандарту. Так, как это тестирование само по

себе является достаточно сложной задачей, для его решения необходимо создать специальный центр сертификации, протестирующий полностью соответствие стандарту различных устройств. В дополнение к одноразовым сертификационным испытаниям должны быть организованы долгосрочные тесты надежности, которые наиболее целесообразно выполнять в полной схеме рабочей подстанции в реальных условиях эксплуатации. Прежде всего, необходимо проверить цифровые источники информации. Для решения этих проблем целесообразно, согласно опыту США, создать экспериментальную цифровую подстанцию, оборудованную полным набором цифровых измерительных приборов и микропроцессорных средств защиты, управления и измерения.

Создание экспериментальной ЦПС должно обеспечить решение следующих задач и вопросов:

- проверка открытости архитектуры ЦПС для защиты, управления и сбора данных;
- Тестирование новых цифровых измерительных приборов вместо традиционных аналоговых счетчиков (трансформаторов тока и напряжения);
- Проверка совместимости интеллектуальных электронных устройств (IED) различных производителей, реализующих функции управления и защиты.
- Проверка конфигурации системы с помощью инструментов, предоставляемых производителями устройств, без необходимости постоянной поддержки со стороны самих производителей;
- Оценка сопоставимых функциональных возможностей и производительности по сравнению с традиционным принципом работы подстанции со значительным сокращением площадей, занимаемых контрольно-измерительным оборудованием;
- Показатель уровня безопасной и надежной работы системы в целом на основе своевременной и надежной передачи данных;
- Показатель экономической эффективности проекта;
- Опыт, полученный в рамках проекта, должен быть повторно использован для других подстанций;
- Упрощение работы: мониторинг и диагностика сети для сокращения времени обслуживания, работоспособности системы мониторинга; --
- Тестирование эффективного высокоскоростного управления передачей данных;
- Проверка связи между ИЭУ;
- разработку методологии тестирования и проверки системы, в том числе возможность проверки любого ИЭУ с сохранением работоспособности других ИЭУ в одной сети;
- разработку и тестирование инструментов и методологии проектирования автоматизированных систем, которые соответствуют новым функциям и принципам работы системы; разработку русифицированных и адаптированных под российские стандарты инструментов;

- разработку специального нормативного документа на базовые алгоритмы логики для ИЭУ[23].

2 Анализ протоколов связи в электроэнергетике

2.1 Существующие протоколы связи в электроэнергетике

В нынешнее время к главным областям применения систем передачи данных можно отнести системы релейной защиты и автоматики (РЗА), диспетчерского и автоматизированного технологического управления -- электроэнергетическими объектами (АСТУ), к тому же автоматизированные системы учета энергетических ресурсов. В рамках этих систем решаются следующие вопросы:

- передача данных между локальными устройствами телемеханики (ТМ), устройствами РЗА и центральной приемопередающей станцией (ЦППС);
- передача данных между объектом и диспетчерским центром;
- передача данных между диспетчерскими центрами;
- системы учета;
- передача данных от приборов учета в устройства сбора и передачи данных (УСПД);
- передача данных от УСПД на сервер.

В части системы РЗА можно отметить следующее: несмотря на то, что сбор данных с устройств РЗА в АСТУ в цифровом формате начало внедряться с момента появления цифровых устройств РЗА, связи между устройствами по-прежнему организуются аналоговыми цепями [24].

В РЗА системы передачи данных имеют возможность выполнять такие задачи:

- передача дискретных сигналов;
- передача данных между устройствами РЗА и ЦППС.

Другим важным каналом передачи, общим как для системы РЗА, также и для систем АСТУ и учета, остается канал, которые осуществляют передачу измерений от измерительных трансформаторов тока и напряжения. До последнего времени о внедрении цифровых протоколов связи на данном уровне речь не шла, однако, имея в виду появление протокола для передачи моментальных значений тока и напряжения МЭК 61850-9-2, на проблемах этого информационного канала также следует остановиться [24].

2.1.1 Передача измерений от ТТ и ТН.

Передача сигналов от измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН) воспроизводится по кабелям с медными жилами переменного тока и напряжения соответственно. Для данного способа характерны проблемы:

- большая разветвленность и протяженность медных кабелей, приводящая к необходимости применения огромного количества вспомогательного оборудования (испытательных блоков, клеммников и т.д.) и, как следствие, к повышению стоимости систем и сложности монтажа и наладки;

- подверженность измерительных цепей воздействию электромагнитных помех;

- сложность или отсутствие возможности контроля исправности измерительного канала в темпе процесса, сложность поиска места повреждения;

- влияние сопротивления измерительных цепей на точность измерений и необходимость согласования мощности ТТ/ТН с сопротивлением цепей и нагрузкой приемника [24].

2.1.2 Передача дискретных сигналов между устройствами.

Передача дискретных сигналов между устройствами традиционно осуществляется подачей оперативного напряжения посредством замыкания выходного реле одного устройства на дискретный вход другого [24].

Такой способ передачи информации имеет следующие недостатки:

- необходимо большое число контрольных кабелей, проложенных между шкафами с аппаратурой;

- устройства должны иметь большое число дискретных входов и выходов;

- число передаваемых сигналов ограничивается определенным количеством дискретных входов и выходов;

- отсутствие возможности контроля связи между устройствами;

- возможность ложного срабатывания дискретного входа устройства при замыкании на землю в цепи передачи сигнала;

- цепи подвержены воздействию электромагнитных помех;

- сложность расширения систем релейной защиты и автоматики..

2.1.3 Передача данных между ЦППС объекта и диспетчерским центром до создания МЭК 61850.

Передача данных между объектом и диспетчерским центром производится в цифровом формате. Для таких целей часто используют протоколы МЭК 60870-101/104. Особенность реализации таких систем связи:

- наличие необходимости передачи информации в протоколах диспетчерского управления, которое отличается от протоколов, что применяются на подстанциях;

- передача ограниченного количества данных, необходимо для переназначения всех сигналов с одного протокола на другой, в итоге потеря некоторой информации, передача которой на этапе разработки не была важной;

- отсутствие одной системы наименований сигналов в пределах объекта и в центрах управления сетями (ЦУС), приводящее к проблемам наладки и отслеживания многих ошибок [24].

На рисунке 2.1 представлена принципиальная схема организации передачи информации. Необходимо отдельно отметить большое количество фирменных протоколов. Для того чтобы протокол получил широкое распространение необходимо большое количество конвертеров, хорошую квалификацию персонала и достаточный опыта работы с различными протоколами. В итоге это ведет к сложности системы и различным проблемам при расширении и эксплуатации [24].

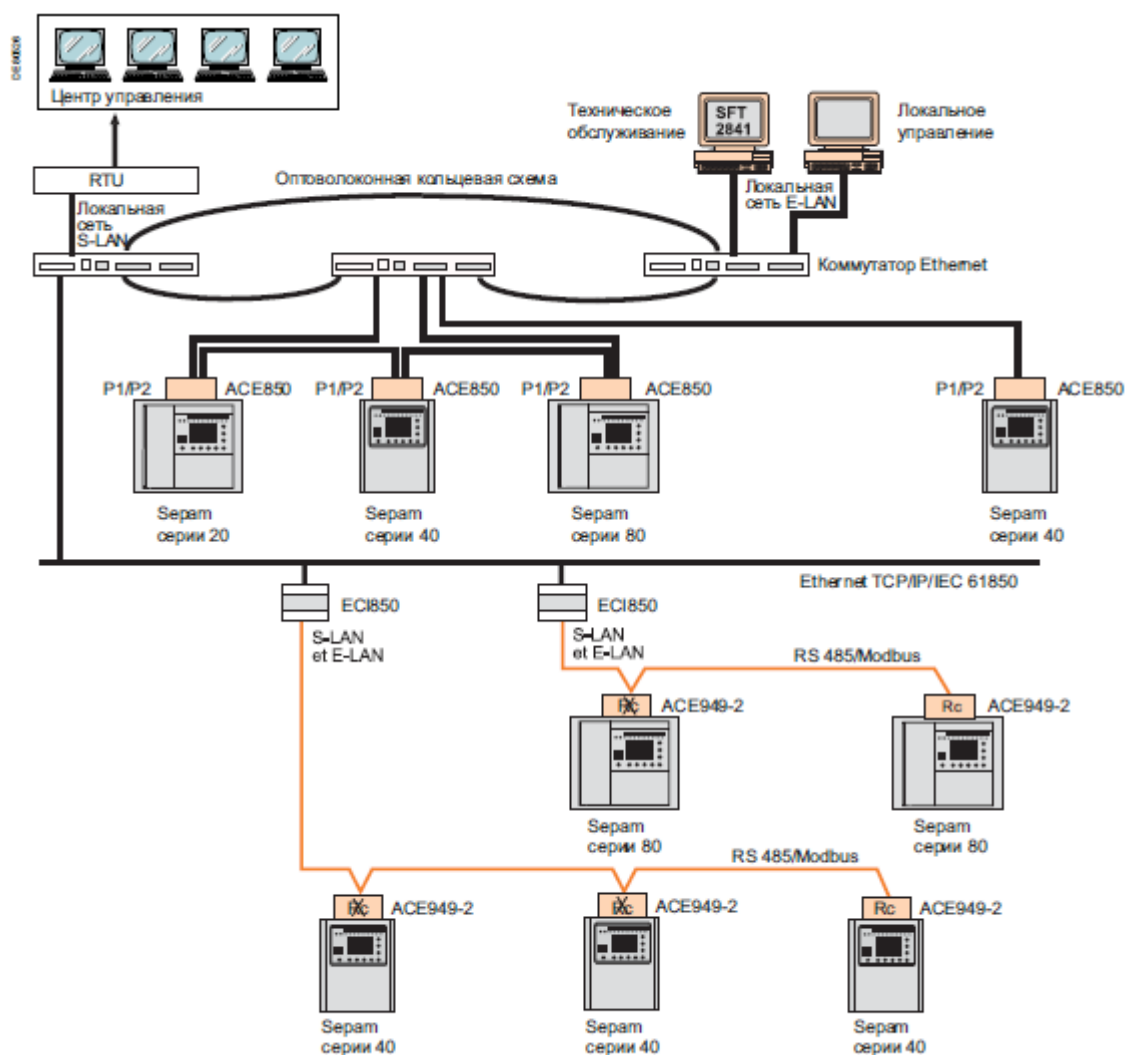


Рисунок 2.1 - Принципиальная схема организации передачи данных

2.2 Анализ протоколов МЭК 61850

2.2.1 Предпосылки для создания и основные положения стандарта МЭК 61850.

С появлением первых цифровых устройств, начали формироваться требования к системам передачи данных. Эти требования касались надежности, производительности и совместимости программно-аппаратных решений.

С 1960-х годов осуществлялось множество попыток создать систему, удовлетворяющую этим требованиям, но из-за технических сложностей достижение поставленных целей было затруднено.

Движение к достижению 100 % надежности, совместимости и гарантированной доставке данных велось не только путем модернизации компьютерных систем и систем связи, но и путем разработки новых протоколов передачи данных.

Каждый производитель строил систему на основе тех протоколов передачи данных, которые он считал наиболее подходящими для решения той или иной задачи. Использовались такие протоколы как МЭК 60870-101/103/104, *Modbus*, *DNP3* и т. д. Некоторые из них стали более популярными, некоторые менее, но такое разнообразие решений приводило к отсутствию совместимости и взаимозаменяемости оборудования и усложнению процесса системной интеграции.

Определим существующие подходы к реализации функций системы передачи информации.

Передача сигналов от измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН) воспроизводится по кабелям с медными жилами переменного тока и напряжения. Для рассматриваемого способа характерны проблемы, которые частенько упоминаются в литературах [25]:

- огромная разветвленность и протяженность медных кабелей, которая приводит к необходимости применения огромного количества вспомогательных оборудования (испытательных блоков, клемников и т.д.) и, как следствие, к увеличению стоимости систем и сложности монтажных и наладочных работ;
- подверженность измерительных цепей воздействию электрических и магнитных помех;
- наличие сложности или отсутствие возможности контроля исправности измерительных каналов в темпе процесса, наличие сложности в поисках локации повреждений;
- влияния сопротивлений измерительных цепей на показатель точности измерений и необходимости согласования мощности ТТ/ТН с сопротивлениями цепей и нагрузкой приемника.

Передача дискретных сигналов между устройствами традиционным образом воспроизводится подачей оперативного напряжения при помощи замыкания выходного реле одного из устройств на дискретный вход другого.

Такой метод передачи данных имеет такие недостатки [26]:

- наличие необходимости большого количества контрольных кабелей, которые прокладываются между шкафами с аппаратурой;
- устройства должны иметь огромное количество входов и выходов дискретов;
- количество сигналов, которые передаются ограничиваются определенным числом входов и выходов дискрета;
- отсутствие возможности контроля связи между устройствами;

- возможность ложного срабатывания дискретного входа устройства при замыкании на землю в цепи передачи сигнала;
- наличие склонности цепей к воздействию электрических и магнитных помех;
- наличие сложности в расширения систем релейной защиты и автоматики.

Обмен данными между релейной защитой и автоматикой, также центральной приемопередающей станцией на объекте воспроизводится в цифровом формате. Однако ввиду необходимости интеграции большого количества различных устройств этот способ имеет следующие особенности:

- наличие огромного числа разных протоколов передачи данных, причем устройство ЦППС для успешной интеграции любых устройств должно поддерживать все эти протоколы;
- отсутствие единой системы наименования данных, приводящее к необходимости поддержания большого количества описательной документации, а также к сложностям и ошибкам при наладке;
- относительно малая скорость передачи данных, обусловленная наличием большого количества последовательных интерфейсов.

Передача данных между объектом и диспетчерским центром также ведется в цифровом формате. Обычно для этих целей используют протоколы МЭК 60870-101/104. Особенности реализации этих систем связи [27]:

- необходимость передачи данных в протоколах диспетчерского управления, как правило, отличающихся от протоколов, применяемых на подстанции;
- передача лимитированного числа информации, которая обуславливается наличием переназначения всех сигналов с одного протокола на другой, и, как следствие, потеря некоторых данных, передача которых на этапе проектирования не была учтена как, целесообразной;
- отсутствие единых названий сигналов в рамках объекта и в центрах управления сетями (ЦУС), приводящее к сложности наладочных работ и отслеживания ошибок.

Существующие протоколы связи достаточно успешно позволяют реализовывать задачи диспетчерского управления и интеграции данных в системы управления, но не позволяют осуществлять функции реального времени (такие как передача дискретных сигналов между устройствами релейной защиты и автоматики, передача моментальных значений токов и напряжений) и не предъявляют требований к формальному описанию конфигураций протоколов и передаваемых сигналов, в связи с чем проектная документация на системы АСУТП содержит лишь описание сигналов на твердых носителях.[28]

2.2.2 Основные положения при разработке МЭК 61850

История создания МЭК-61850 началась еще в 1980-х годах в США в Детройте. На заводах, собирающих автомобили, были установлены роботы-сборщики, управление которыми производилось по протоколу *MMS*. Использование этого протокола оказалось достаточно успешным и уже в 90-х годах он лег в основу *UCA2 (Utility Communication Architecture)*, который активно применялся в Европе в электрической энергетике.

Работа над стандартом МЭК 61850 началась в 1995 году, причем изначально велась двумя независимыми, параллельно работающими группами [29]: одна из них образована *UCA* (некоммерческая организация, основной деятельностью которой является поддержка пользователей во внедрении стандартов передачи данных реального времени). В настоящее время *UCA* не занимается разработкой стандартов, однако активно взаимодействует с органами по стандартизации. Первая группа занималась разработкой общих объектных моделей подстанционного оборудования. Вторая группа, образованная в рамках технического комитета 57 МЭК, занималась созданием стандарта на протокол передачи данных для подстанций.

Позднее, в 1997 году, работы обеих групп были объединены под эгидой рабочей группы 10 ТК 57 МЭК, в состав которой входит более 200 экспертов из 22 стран мира. Наиболее широкое представительство в рабочей группе имеют США (25 человек), Франция (25 человек) и Канада (21 человек), Россия представлена 13 участниками. Заседания рабочей группы проводятся четыре раза в год для обсуждения разрабатываемых глав стандарта МЭК 61850.

В основе стандарта лежат три положения:

- он должен быть технологически независимым, то есть вне зависимости от технологического прогресса стандарт должен подвергаться минимальным изменениям.
- он должен быть гибким, то есть допускать решение различных задач с использованием одних и тех же стандартизованных механизмов.
- он должен быть расширяемым.

Разработка первой редакции стандарта заняла порядка 10 лет и появилась в 2003 году. Отвечая поставленным требованиям, стандарт позволяет соответствовать изменяющимся потребностям электроэнергетики и использовать последние достижения в области компьютерных, коммуникационных и измерительных технологий.

Область применения стандарта МЭК 61850 - системы связи внутри подстанции. Это набор стандартов, в который входят стандарт по одно ранговой связи и связи клиент-сервер, стандарт по структуре и конфигурации подстанции, стандарт по методике испытаний, стандарт экологических требований, стандарт проекта.

Основным требованием к системе сбора данных в стандарте является обеспечение способности микропроцессорных электронных устройств к обмену технологическими и другими данными. Стандарт предъявляет следующие требования к системе:

- высокоскоростной обмен данными микропроцессорных электронных устройств между собой (одно ранговая связь).
- привязка к подстанционной локальной вычислительной системе (ЛВС).
- высокая надежность.
- гарантированное время доставки.
- функциональная совместимость оборудования различных производителей.
- средства поддержки чтения осциллограмм.
- средства поддержки передачи файлов.
- конфигурирование/автоматическое конфигурирование.
- поддержка функций безопасности.

МЭК 61850 является объектно-ориентированным протоколом, фокусированным на автоматизацию подстанций, и значительно расширяет возможности предшествующих стандартов МЭК. Из-за сложности программной реализации МЭК 61850, что включает реализацию целого ряда стандартов по передаче данных (*MMS ISO 9506*, стека протоколов *ISO, GOOSE*), на рынке практически отсутствуют надежные готовые решения, позволяющие принимать данные с устройств, поддерживающих МЭК 61850.

На сегодняшний день МЭК 61850 состоит из 25 различных документов (в том числе разрабатываемых), которые охватывают широкий круг вопросов и делают его гораздо больше, чем просто спецификацией ряда коммуникационных протоколов. Отметим основные особенности стандарта [25]:

- определяет не только то, как должен производиться обмен информацией, но и то, какой информацией должен производиться обмен. стандарт описывает абстрактные модели оборудования объекта и выполняемых функций. информационная модель, лежащая в основе стандарта, представляется в виде классов объектов данных, атрибутов данных, абстрактных сервисов и описания взаимосвязей между ними.
- определяет процесс проектирования и наладки систем.
- определяет язык описания конфигурации системы (*SCL*). данный язык обеспечивает возможность обмена информацией о конфигурации устройств в стандартизованном формате между программным обеспечением различных фирм-производителей.
- описывает методики испытаний и приемки оборудования.

Согласно МЭК 61850 устройства РЗА объединены шиной, по которой сами устройства обмениваются данными между собой и передают эти данные на верхний уровень. Такая архитектура удобна тем, что применение технологической шины значительно уменьшает количество медных проводов, что упрощает настройку, проектирование и эксплуатацию системы.

Данные от терминалов релейной защиты по станционной шине могут передаваться на верхний уровень оператору, кроме того, у контролирующих органов, имеющих соответствующий уровень доступа, есть возможность получать оперативные данные с любой подстанции и с любого терминала

РЗА. Эта информация позволяет контролировать деятельность подчиненных служб, что повышает надежность энергетических объектов в целом [30].

Возможность такого гибкого конфигурирования информационных потоков появилась, благодаря той части стандарта, которая посвящена передаче данных.

Основными протоколами передачи данных, согласно стандарту МЭК-61850, являются протоколы *MMS* и *GOOSE*.

MMS используется для передачи данных от терминалов РЗА в *SCADA* систему для дальнейшей визуализации, а *GOOSE* - для обмена данными между терминалами.[31]

Важной особенностью протоколов является гарантированная доставка сообщений, а скорость передачи данных у *MMS* и *GOOSE* выше, чем у других протоколов передачи данных, таких как, например, *Modbus*.

Взаимозаменяемость отдельных компонентов системы достигается за счет стандартизации протоколов передачи данных, а также за счет жестких требований по совместимости оборудования.

Системы, построенные на МЭК 61850, проще обслуживать из-за уменьшения количества кабельных линий связи, что положительно сказывается на надежности системы в целом. Архитектура системы интуитивно понятна, в результате разработчики и интеграторы тратят меньше времени на понимание архитектуры конкретного объекта и, как следствие, значительно снижается стоимость проектирования и интеграции. Обслуживание таких систем по сравнению со стандартными в целом проще, хоть и предъявляет несколько иные требования к опыту персонала.

К недостаткам можно отнести повышенную сложность и новизну стандарта. У разработчиков и интеграторов мало опыта построения подобных систем, но этот недостаток, очевидно, временный.

Работая с МЭК 61850, необходимо понимать, что стандарт:

- не стандартизует функциональность и алгоритмы устройств,
- не описывает конкретные методики внедрения, коммуникационные архитектуры или требования к конкретным продуктам;
- сфокусирован на описании функциональных возможностей первичного и вторичного оборудования, функций защиты, управления и автоматизации, видимых извне.

Безусловно, такая масштабная работа не может быть идеальной. В качестве примеров неточностей и недоработок стандарта, в частности, называется отсутствие методик формальной проверки соответствия требованиям стандарта, ряд технических неточностей в описании параметров и подходов к их обработке и так далее.

К недостаткам стандарта часто относят неконкретность описания требований и слишком большую свободу при реализации, что, по мнению разработчиков, как раз является одним из его главных достоинств. Еще одним недостатком систем, построенных на МЭК 61850, является повышенная стоимость микропроцессорного оборудования РЗА, однако, нужно помнить,

что применение МЭК 61850 дает ряд преимуществ, именно поэтому, количество подстанций по всему миру, построенных на основе этого стандарта, увеличивается [32].

МЭК 61850 задумывался как универсальный стандарт, который позволит упорядочить разрозненные решения различных производителей устройств релейной защиты и систем передачи данных, применяемых на подстанциях.

Стандарт получился достаточно сложным именно из-за своей универсальности. Он описывает не только, как передаются данные, но и закрепляет требования к описанию электрических систем на всех уровнях, начиная от уровня системы в целом, заканчивая конфигурацией отдельного терминала РЗА. Согласно этим требованиям, система описывается в понятной и стандартизированной форме. Вся информация о конфигурациях хранится в файлах определенного формата. Это приводит к тому, что разработка систем на базе МЭК 61850 проста и понятна.

2.2.3 Структура и содержание стандартов серии МЭК 61850

Опубликованные и планируемые к публикации стандарты серии МЭК 61850 имеют следующие заголовки и содержание[33]:

1. МЭК 61850-1 Введение и обзор:
 - введение и краткий обзор стандартов серии МЭК 61850.
2. МЭК 61850-2 Словарь терминов:
 - термины с соответствующими определениями, используемые в стандартах серии МЭК 61850.
3. МЭК 61850-3 Общие требования:
 - требования к качеству (надежность, ремонтпригодность, готовность системы, мобильность, безопасность);
 - условия окружающей среды;
 - дополнительное обслуживание;
 - другие стандарты и спецификации.
4. МЭК 61850-4 К управлению системой и проектами относится:
 - проектные требования (классификация параметров, проектные инструментальные средства, документация);
 - жизненный цикл систем (версии продукции, прекращение производства, поддержка после прекращения производства);
 - снабжение качеством [области ответственности, испытательные оборудования, проверка оборудования, заводские приемочные испытания (FAT) и приемочные испытания на территории заказчика (SAT)].
5. МЭК 61850-5 К требованиям связи для функций и моделей устройств можно отнести:
 - основные требования;
 - метод логических узлов;
 - логические каналы связи;
 - концепции ICOM (единицы передаваемых данных);

- логические узлы и соответствующие единицы передаваемых данных (PICOM);

- рабочие параметры;

- функции;

- «динамические сценарии» (требования к информационному потоку для разных эксплуатационных условий).

6. МЭК 61850-6 К языку описания конфигураций для связи между интеллектуальными электронными устройствами на электроподстанциях:

- анализ заданного процесса системного проектирования;

- рассмотрение формата файла обмена системными характеристиками и параметрами конфигурации на основе XML-языка, включает:

- описание семантики (однолинейной) первичных схем,

- описание коммуникационных соединений,

- возможности IED-устройств;

- привязка логических узлов IED-устройства к первичным схемам.

7. МЭК 61850-7-1 К принципам и моделям базовой структуры связи для подстанций и линейных оборудования относится:

- введение в МЭК61850-7-1 —МЭК61850-7-4;

- принципы и модели связи.

8. МЭК 61850-7-2 К основной структуре связи для подстанций и линейных оборудования относится наличие абстрактного интерфейса услуг связи (ACSI):

- описание ACSI;

- спецификация абстрактных услуг связи;

- модель структуры базы данных устройства.

9. МЭК 61850-7-3 К классам общих данных основной структуры связи для подстанций и линейных оборудования:

- классы общих данных и связанные атрибуты.

10. МЭК 61850-7-4 Основная построение связи для подстанций и линейных оборудования. К совместимым классам логических узлов и классам данных:

- обоснование классов логических узлов и классов данных; классы логических узлов состоят из классов данных.

11. МЭК 61850-8 Специфические отображения сервиса связи:

- показатель сервисов, используемых для связи в пределах всей подстанции.

12. МЭК 61850-9 Специфические отображения сервиса связи:

- отображения сервисов, которые используются для передачи выборочных аналоговых значений.

13. МЭК 61850-10 Проверка соответствий:

- процедуры проверки соответствия;

- снабжение и проверка качества;

- требуемая документация;

- проверка соответствий для определенных устройств;

- сертификация испытательных центров, требования и аттестация испытательных оборудований [33].

Части 3, 4 и 5 Стандарта начинаются с определения общих и определенных функциональных требований к каналам связи подстанции (основные требования изложены выше). Эти требования в дальнейшем применяются в качестве задающих функций для распознавания нужных моделей информации и обслуживания, протокола прикладной программы и начальных элементов передачи информации, сети, каналов передачи информации и физических уровней, соответствующие к общим требованиям.

Базовая концепция архитектуры, которая принята в стандарте МЭК 61850, входит в абстрагированном определении (описании) средств данных и обслуживания, т.е. создание элементов/объектов данных и сервисных функций, которые не зависят от протоколов нижнего уровня. Абстрактные определения позволяют распределить объекты данных и сервисные функции по любому другому протоколу, если он соответствует требованиям данных и обслуживания. Определение абстрактных сервисных функций приводится в Части 7.2, а абстрактное представление объектов данных (относительно логических узлов) содержится в Части 7.4. Так, как объекты данных строятся из общих стандартных частей (к примеру, Состояние, Управление, Измерение, Замена), были разработаны концепции классов общих данных (или CDC), определяющие стандартные составные элементы, при помощи которых можно сделать намного сложные составные объекты информации[33].

Описание элементов классов общих данных расписаны в Части 7.3.

Как только были представлены абстрактные определения данных и обслуживания, начинается последний этап – «преобразование» абстрактных сервисных функций в функционирующий протокол. Раздел 8.1 определяет преобразование абстрактных объектов данных и сервисных функций в стандарт MMS2 чтобы передавать уведомления внутри предприятия – Спецификация производственной службы сообщений (MMS - Manufacturing Messaging Specification). Разделы 9.1 и 9.2 определяют выборочные измеренные значения (однонаправленные двухпунктовые и двунаправленные многоточечные соответственно) в кадре данных Ethernet. В Части 9.2 дается описание технологической шины.

С точки зрения системы существует значительный объем конфигурирования, необходимый для функционирования всех соединенных вместе частей. Для упрощения этого процесса и исключения компонента человеческой ошибки в Части 6 приводится описание языка конфигурирования подстанции (SCL), основанного на языке XML. Он представляет собой формальное описание отношений между АСУ подстанции и самой подстанцией (распредустройством). На прикладном уровне можно описать саму топологическую структуру распредустройства и ее отношение к функциям АСУ ПС (логическим узлам), сконфигурированным на микропроцессорных электронных устройствах. Каждое устройство должно

предоставить SCL файл, описывающий самоконфигурирование подстанции[33].

Хотя первоначально стандарт МЭК 61850 разрабатывался для применения внутри подстанции, в настоящее время ведутся дискуссии об определении стандарта МЭК 61850 как главного протокола связи подстанции (уже есть несколько случаев применения). Кроме того, известны случаи применения различных компонентов стандарта МЭК 61850 для глобальной системы связи между подстанциями.

В части 10 документа устанавливается методологию проверок для описания «совместимости» множества определений протоколов и ограничений, которые описываются в данном документе.

В остальных частях текста производится детальное описание различных частей стандарта МЭК 61850.

2.3 Протокол GOOSE

Протокол GOOSE, описанный главой МЭК 61850-8-1, является одним из наиболее широко известных протоколов, предусмотренных стандартом МЭК 61850. Дословно расшифровку аббревиатуры GOOSE – Generic Object-Oriented Substation Event – можно перевести как «общее объектно-ориентированное событие на подстанции». Однако на практике не стоит придавать большое значение оригинальному названию, поскольку оно не дает никакого представления о самом протоколе. Гораздо удобнее понимать протокол GOOSE как сервис, предназначенный для обмена сигналами между РЗА в цифровом виде [36].

Формирование GOOSE-сообщений. Наборы данных Dataset применяются для группировки данных, которые будут отправлять с применением механизма GOOSE-уведомлений. В дальнейшем в блоке управления отправкой GOOSE предоставляется ссылка на сформированный набор данных. При таком раскладе устройство понимает, какие определенные данные следует отправить. Принцип передачи GOOSE-уведомлений представлен на рисунке 2.10.

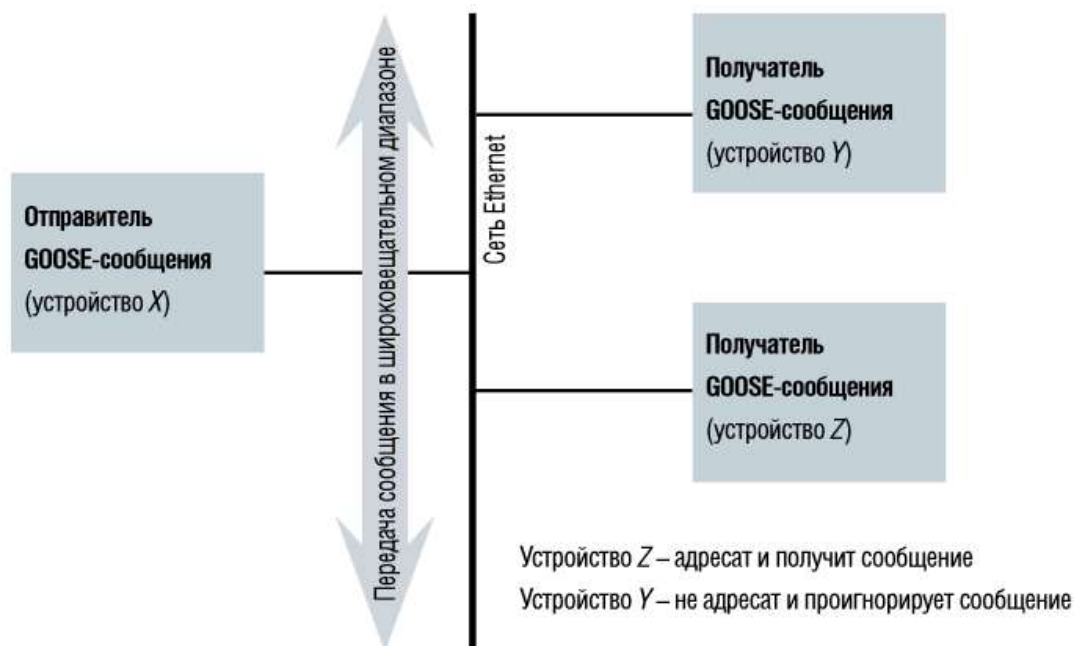


Рисунок 2.10 - Принцип построения GOOSE – уведомлений

Нужно не забывать о том, что в рамках одного GOOSE -уведомления может передаваться лишь одним значением (к примеру, сигнал пуска МТЗ), к тому же в одно время показатели нескольких значений (к примеру, сигналы пуска, также сигналы срабатывания МТЗ и т.п.). Устройства, которые получают сигналы также имеют возможность извлекать из пакета только такие данные, что необходимы ему [36].

Передаваемый пакет GOOSE- уведомлений имеет все показатели текущих значений атрибутов данных, которые вносятся в совокупность данных. В случае если изменяется какое-либо значение атрибутов, то устройства разом примется инициировать посылку нового GOOSE-уведомлений с обновленными данными (на рисунке 2.11).

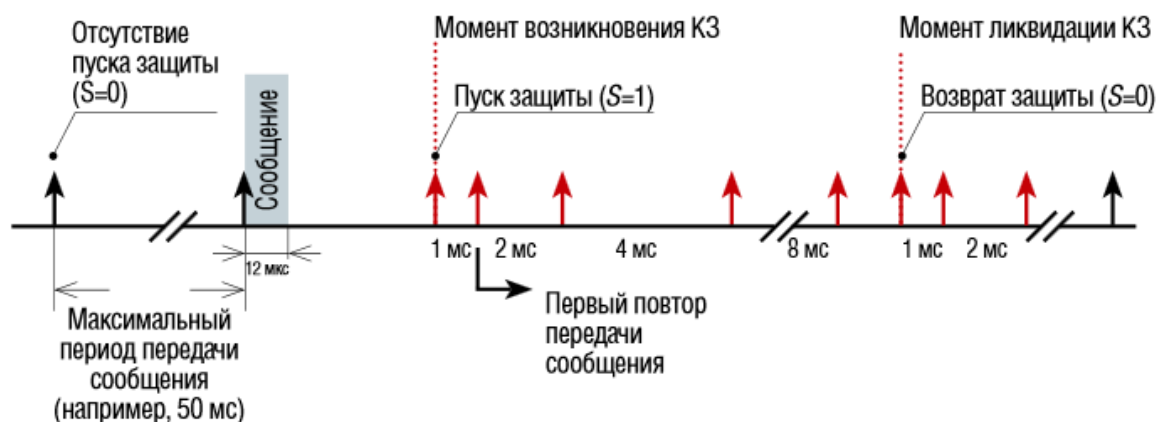


Рисунок 2.11 - Принцип передачи GOOSE – уведомлений

По своему назначению *GOOSE* - уведомлений призвано заменить передачу дискретных сигналов по сети оперативного тока. Рассмотрим, какие требования при этом предъявляются к протоколу передачи данных [36].

Устройства -отправители передают по сети *Ethernet* данные в диапазоны, что широко вещают. В таких уведомлениях имеется адрес отправляющего и адресат, через которых происходит их передача, к тому же значения сигналов (к примеру, «0» или «1»). Устройства-получатели принимают уведомления, когда другие оставшиеся устройства их игнорируют. Так, как отправка *GOOSE* - уведомлений воспроизводится в диапазоне широкого вещания, вернее нескольким получателям, доказательство отсутствия уведомления принятия получателями. По этой причине передача *GOOSE* - уведомлений производится определенно периодически в установленном режиме периодичностью [37].

Как только наступает новое событие в системе (к примеру, короткое замыкание и в результате, пуска органов защиты измерения) начинается случайная отправка уведомлений при помощи интервалов времени, что постепенно увеличивается (к примеру, 1, 2, 4 миллисекунды и т.п.). Интервал времени между отправляемыми уведомлениями растет, до того момента пока не будет достигнуты предельные значения, которые определяются пользователем (к примеру, 50 мс). В дальнейшем, до наступления новых событий в системе, передача будет производиться именно с такими периодами времени. Указанное представлено на рисунке 2.11 [37].

Технологии повторной передачи гарантирует получение адресатом уведомлений, но и обеспечивает контроль исправности связной линии и устройства – различные неисправности обнаруживаются по истечении наибольшего периода раздачи *GOOSE* - уведомлений (с точки зрения использования практически моментально). В случаях передачи сигналов традиционным образом неисправность выявляется либо в процессе плановой проверки устройств, либо в случае неправильной работы системы релейной защиты и автоматики [37].

Еще одной особенностью передачи *GOOSE* - уведомлений является использование функций установки приоритетности передачи телеграмм (priority tagging) стандарта *Ethernet* IEEE 802.3u, не использующиеся в других протоколах, в том числе уровня TCP/IP. То есть *GOOSE* - уведомлений идут в обход «нормальных» телеграмм с более высоким приоритетом (на рисунке 2.12) [37].

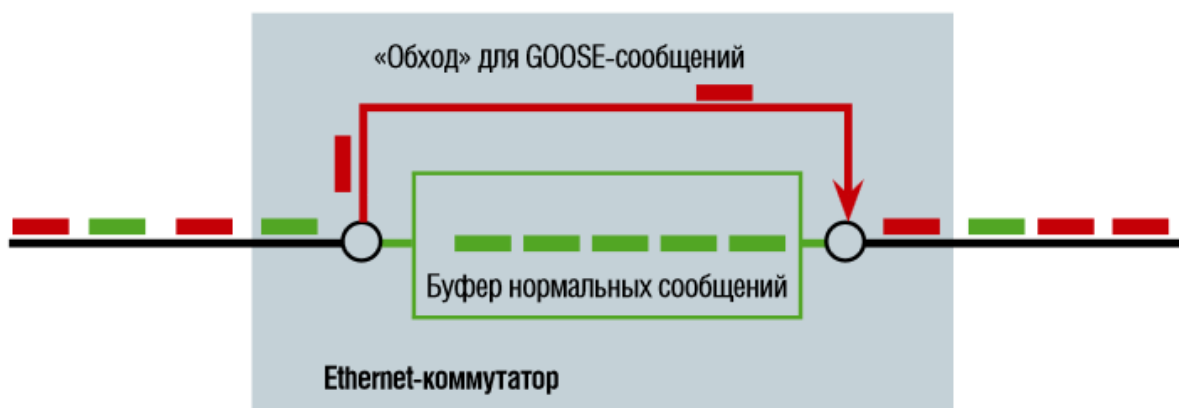


Рисунок 2.12 - Приоритетность передачи *GOOSE* - уведомлений

Однако стандарт МЭК 61850 декларирует передачу не только дискретной информации между терминалами РЗА, но и аналоговой. Это означает, что в будущем будет иметься возможность передачи аналоговой информации от ТТ и ТН по цифровым каналам связи. Для того чтобы использовать *GOOSE* - уведомления для передачи дискретных сигналов между терминалами РЗА необходима достаточная надежность и быстродействие передачи *GOOSE* - уведомлений. Надежность передачи *GOOSE* - уведомлений обеспечивается следующим:

- протокол МЭК 61850 использует Ethernet-сеть, за счет этого выход из строя верхнего уровня АСУ ТП и любого из устройств РЗА не отражается на передаче *GOOSE* -уведомлений оставшихся в работе устройств;
- терминалы РЗА имеют два независимых Ethernet-порта, при выходе одного из них из строя второй его полностью заменяет;
- сетевые коммутаторы, подключающиеся устройства РЗА, соединяются в два независимых «кольца»;
- разные порты одного терминала релейной защиты и автоматики подключаются к разным сетевым коммутаторам, подключенным к различным «кольцам»;
- каждый сетевой коммутатор имеет дублированное питание от различных источников [37].

Во всех устройствах релейной защиты и автоматики воспроизводится постоянный контроль возможности прохождения каждого сигнала. Это позволяет автоматически определить не только отказы цифровой связи, также ошибки параметрирования терминалов.

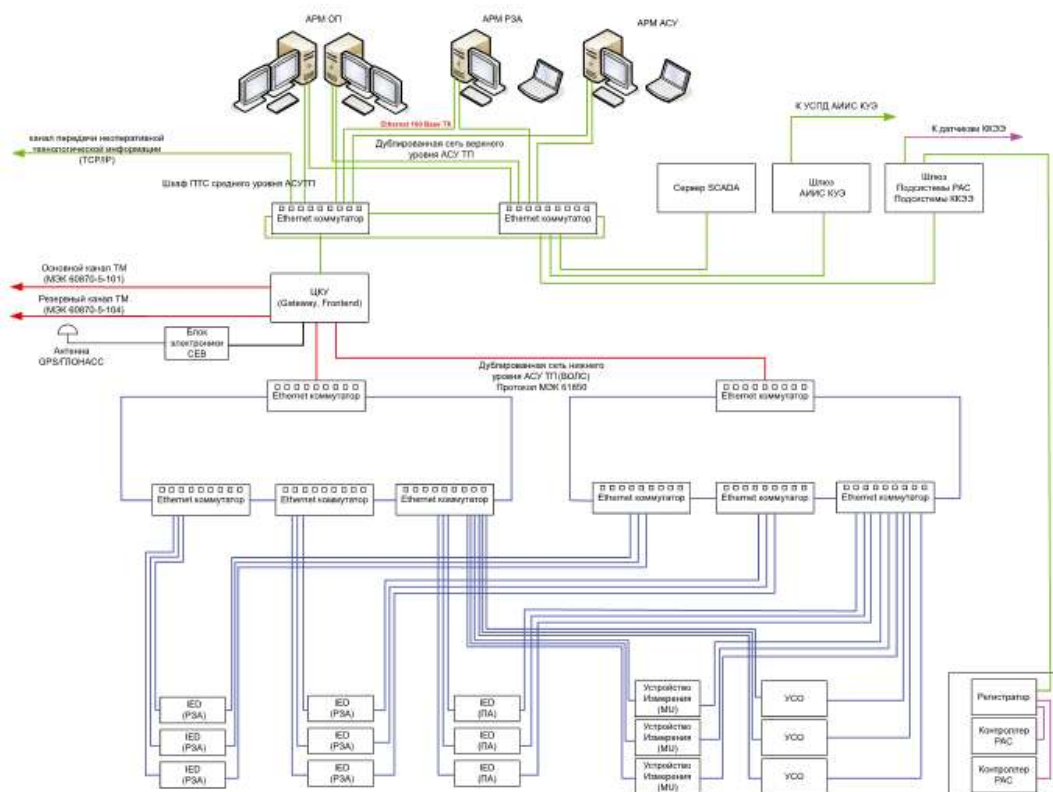


Рисунок 2.13 - Структурная схема сети Ethernet подстанций

На рисунке 2.13 изображен пример структурной схемы сети Ethernet (100 Мбит/с) подстанции. Отказ в передаче *GOOSE* -уведомлений от одного устройства защиты другому возможен в результате совпадения как минимум двух событий. Например, одновременный отказ двух коммутаторов, к которым подключено одно устройство или одновременный отказ обоих портов одного устройства. Могут быть и более сложные отказы, связанные с одновременным наложением большего количества событий. Таким образом, единичные отказы оборудования не могут привести к отказу передачи *GOOSE* уведомлений. Дополнительно увеличивает надежность то обстоятельство, что даже в случае отказа в передаче *GOOSE* - уведомлений, устройство, принимающее сигнал, выдаст сигнал неисправности, и персонал должен принять необходимые меры для ее устранения [37].

Цифровые коммуникации взамен аналоговых. Для разработки альтернативы цепям передачи сигналов между устройствами релейной защиты были проанализированы свойства информации, передаваемой между устройствами РЗА посредством дискретных сигналов:

- малый объем информации: между терминалами фактически передаются значения «истина» и «ложь» (или логический «ноль» и «единица»);
- требуется высокая скорость передачи информации. Большая часть дискретных сигналов, передаваемых между устройствами РЗА, прямо или косвенно влияет на скорость ликвидации ненормального режима, поэтому передача сигнала должна осуществляться с минимальной задержкой;

– требуется высокая вероятность доставки уведомления для реализации ответственных функций, таких как подача команды отключения выключателя от РЗА, обмен сигналами между РЗА при выполнении распределенных функций. Необходимо обеспечение гарантированной доставки уведомления как в нормальном режиме работы цифровой сети передачи данных, так и в случае ее кратковременных сбоев;

– возможность передачи сообщений сразу нескольким адресатам. При реализации некоторых распределенных функций РЗА требуется передача данных от одного устройства сразу нескольким;

– необходим контроль целостности канала передачи данных. Наличие функции диагностики состояния канала передачи данных позволяет повысить коэффициент готовности при передаче сигнала, тем самым повышая надежность функции, выполняемой с передачей указанного уведомления [35].

Перечисленные требования привели к разработке механизма *GOOSE* -сообщений, отвечающих всем предъявляемым требованиям [35].

Обеспечение скорости передачи данных. В соответствии с требованиями стандарта МЭК 61850 передача *GOOSE* -сообщений должна осуществляться со временем не более 4 мс (для сообщений, требующих быстрой передачи, например, для передачи сигналов срабатывания защит, пусков АПВ и УРОВ и т.п.). Вообще говоря, время передачи зависит от топологии сети, количества устройств в ней, загрузки сети и загрузки вычислительных ресурсов терминалов РЗА, версии операционной системы терминала, коммуникационного модуля, типа центрального процессора терминала, количества коммутаторов и некоторых других аспектов. Поэтому время передачи *GOOSE* -сообщений должно быть подтверждено опытом эксплуатации. Используя для передачи дискретных сигналов *GOOSE* -уведомления необходимо обращать внимание на то обстоятельство, что при использовании аппаратуры некоторых производителей, в случае отказа линии связи, значение передаваемого сигнала может оставаться таким, каким оно было получено в момент приема последнего уведомления. Однако при отказе связи бывают случаи, когда сигнал должен принимать определенное значение. Например, значение сигнала блокировки МТЗ ввода 6–10 кВ в логике ЛЗШ при отказе связи целесообразно установить в значение «1», чтобы при КЗ на отходящем присоединении не произошло ложного отключения ввода. Так, к примеру, при проектировании терминалов фирмы Siemens изменить значение сигнала при отказе связи возможно с помощью свободно-программируемой CFC логики (рисунок 2.14) [37].

К CFC-блоку SI_GET_STATUS подводится принимаемый сигнал, на выходе блока мы можем получить значение сигнала «Value» и его статус «NV». Если в течение определенного времени не поступит сообщение со значением сигнала, статус сигнала «NV» примет значение «1». Далее статус сигнала и значение сигнала подводятся к элементу «ИЛИ», на выходе которого будет получено значение сигнала при исправности линии связи или «1» при нарушении исправности линии связи. Изменив логику, можно установить значение сигнала равным «0» при обрыве связи [37].

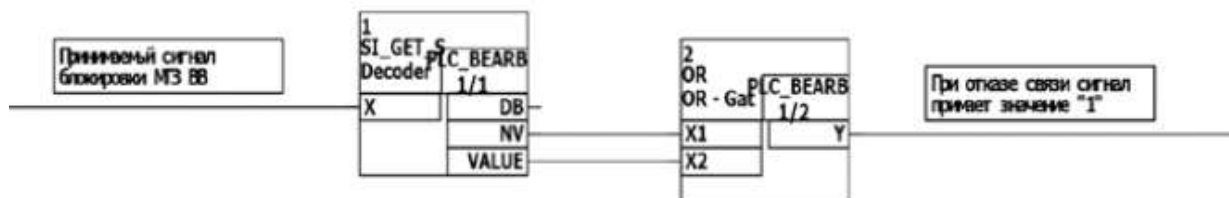


Рисунок 2.14 - Изменение значения принимаемого сигнала при нарушении линии связи при помощи свободно-программируемой логики

Использование *GOOSE* - уведомлений предъявляет специальные требования к наладке и эксплуатации устройств релейной защиты и автоматики. Во многом процесс наладки становится проще, однако при выводе устройства из работы необходимо следить не только за выводом традиционных цепей, но и не забывать отключать передачу *GOOSE* - уведомлений. При изменении параметрирования одного устройства РЗА необходимо производить загрузку файла параметров во все устройства, с которыми оно было связано [37].

Отправка информации нескольким адресатам. Для адресации кадров на канальном уровне используются физические адреса сетевых устройств – MAC-адреса. При этом Ethernet позволяет осуществлять так называемую групповую рассылку сообщений (Multicast). В таком случае в поле MAC-адреса адресата указывается адрес групповой рассылки. Для многоадресных рассылок по протоколу *GOOSE* используется определенный диапазон адресов (рисунок 2.15).



Рисунок 2.15 - Диапазон адресов многоадресной рассылки для *GOOSE* - уведомлений

Уведомления, которые имеют значение «01» в первом октете адреса, отправляются на все физические интерфейсы в сети, поэтому фактически многоадресная рассылка не имеет фиксированных адресатов, а ее MAC-адрес является скорее идентификатором самой рассылки и не указывает напрямую на ее получателей [35].

Таким образом, MAC-адрес *GOOSE* - уведомления может быть использован, к примеру, при организации фильтрации сообщений на сетевых коммутаторах (MAC-фильтрации), к тому же указанный адрес может служить в качестве идентификатора, на который могут быть настроены принимающие устройства.

Поэтому передачу *GOOSE* - уведомлений можно сравнивать с радиотрансляцией: сообщение транслируется всем устройствам в сети, но для получения и последующей обработки уведомления устройство-приемник должно быть настроено на получение этого уведомления (на рисунке 2.16).



Рисунок 2.16 - Схема передачи *GOOSE* - уведомлений

Гарантированная доставка сообщений и контроль состояния канала. Передача сообщений нескольким адресатам в режиме Multicast, а также требования к высокой скорости передачи данных не позволяют реализовать при передаче *GOOSE* -сообщений получение подтверждений о доставке от получателей. Процедура отправки данных, формирования получающим устройством подтверждения, прием и обработка его устройством-отправителем и последующая повторная отправка в случае неудачной попытки заняли бы слишком много времени, что могло бы привести к чрезмерно большим задержкам при передаче критических сигналов [35].

Вместо этого для *GOOSE* - уведомлений был реализован специальный механизм, обеспечивающий высокую вероятность доставки данных.

Во-первых, в условиях отсутствия изменений в передаваемых атрибутах данных пакеты с *GOOSE* - уведомлениями передаются циклически через установленный пользователем интервал (рисунок 2.17а). Циклическая передача *GOOSE* - уведомлений позволяет постоянно диагностировать информационную сеть. Устройство, которое настраивается на прием уведомления, ожидает его прихода через заданный интервал времени. В случае если с уведомление не пришло в течение времени ожидания, принимающее устройство может сформировать сигнал о неисправности в информационной сети, оповещая диспетчера о возникших неполадках [35].

Во-вторых, при изменении одного из атрибутов передаваемого набора данных, вне зависимости от того, сколько времени прошло с момента отправки предыдущего уведомления, формируется новый пакет, который содержит обновленные данные. После чего отправка этого пакета повторяется несколько раз с минимальной выдержкой времени (рисунок 2.17б), а интервал между уведомлениями (в случае отсутствия изменений в передаваемых данных) вновь увеличивается до максимального [35].



Рисунок 2.17 - Интервал между отправками *GOOSE* - уведомлений

В-третьих, в пакете *GOOSE* -уведомлений предусмотрено несколько полей-счетчиков, по которым также может контролироваться целостность канала связи. К таким счетчикам, например, относится циклический счетчик посылок (sqNum), значение которого изменяется от 0 до 4 294 967 295 или до изменения передаваемых данных. При каждом изменении данных, передаваемых в *GOOSE* - уведомлений, счетчик sqNum будет сбрасываться. При этом увеличивается на 1 другой счетчик – stNum, также циклически изменяющийся в диапазоне от 0 до 4 294 967 295. При потере нескольких пакетов при передаче эту потерю можно будет отследить по двум указанным счетчикам [35].

Наконец, в-четвертых, важно отметить, что в посылке *GOOSE*, помимо самого значения дискретного сигнала, может содержаться признак его качества, который идентифицирует определенный аппаратный отказ устройства-источника информации, нахождение устройства-источника информации в режиме тестирования и ряд других нештатных режимов. Таким образом, устройство-приемник, прежде чем обработать полученные данные согласно предусмотренным алгоритмам, должно выполнить проверку этого признака качества. Это может предупредить неверную работу устройств-приемников информации (например, их ложную работу) [35].

При изменении атрибутов данных передача пакетов с маленькой выдержкой времени вызывает повышенную нагрузку на сеть (режим «информационного шторма»), которая теоретически может приводить к возникновению задержек при передаче данных. Такой режим является намного сложным и должен приниматься за расчетный при проектировании информационной сети.

3 Анализ передачи данных по протоколу *GOOSE*

3.1 Краткий обзор конфигурирования протокола *GOOSE*

Протокол МЭК 61850 определяет два типа сервисов одноранговой связи для передачи данных: Общие события состояния подстанции (GSSE) и Общие объектно-ориентированные события на подстанции (*GOOSE*). GSSE сервисы совместимы с UCA 2.0 *GOOSE* протоколом. *GOOSE* сервисы по МЭК 61850 обеспечивают поддержку виртуальной ЛВС (ВЛВС), сопровождение тегами Ethernet приоритета и конфигурацию ID-номера Ethertype приложения. Поддержка виртуальной ЛВС (ВЛВС) и сопровождения тегами приоритета позволяет оптимизировать трафик сети Ethernet. *GOOSE* уведомлениям присваивается приоритет выше, чем стандартному трафику сети Ethernet, и их можно разделить по специфическим виртуальным сетям. Поскольку *GOOSE* сервисы имеют вспомогательные функции по сравнению с GSSE сервисами, рекомендуется использовать *GOOSE* сервисы там, где не требуется совместимость с предыдущими версиями GSSE (или UCA 2.0 *GOOSE*).

Устройства, передающие GSSE и/или *GOOSE* уведомления, также функционируют как серверы. Каждая издательская программа имеет блок управления *GOOSE* для конфигурации и управления передачей данных.

Передачей данных также управляют через настройки устройства. Эти настройки предоставляются в ICD и/или SCD файлах, или в файлах или ПО конфигурации устройства.

Протокол МЭК 61850 рекомендует для *GOOSE* значение приоритета по умолчанию равное 4. Ethernet трафик, который не имеет тега приоритета по умолчанию, имеет значение равное 1 (Подробнее смотрите МЭК 61850, Часть 8-1).

Протокол МЭК 61850 рекомендует ID-номер Ethertype приложения конфигурировать в соответствии с *GOOSE* источником. В устройстве UR, ID-номер переданного *GOOSE* приложения должен соответствовать сконфигурированному ID-номеру принятого в ресивере приложения. Общий номер можно использовать для всех *GOOSE* передатчиков в системе (Подробнее смотрите МЭК 61850, Часть 8-1).

3.1.1 GSSE конфигурация

МЭК 61850 GSSE (Общие события состояния подстанции) протокол связи совместим с UCA *GOOSE* протоколом. GSSE уведомления имеют ряд double point status (двойных элементов данных состояния). Эти элементы данных передаются по двум предварительно установленным структурам данных, которые называются DNA и UserSt. Каждый DNA и UserSt элемент называют "битовой парой". GSSE уведомления передаются при изменении состояния любого из двойных элементов данных уведомления. GSSE уведомления всегда имеют одинаковое число (одинаковый номер) DNA и UserSt битовых пар. В зависимости от конфигурации, только некоторые из этих битовых пар могут иметь значения, которые составляют интерес для принимающих устройств.

Для конфигурации передачи GSSE данных применяются настройки GSSE ФУНКЦИЯ, GSSE ID, и GSSE НАЗНАЧЕНИЕ MAC-АДРЕС. Настройка

GSSE ФУНКЦИЯ выставляется на "Введено" для разрешения передачи данных. Если в настройке GSSE НАЗНАЧЕНИЕ MAC-АДРЕС выставлен действительный многоадресный Ethernet MAC-адрес (Управление доступом к среде передачи данных), то этот адрес будет использоваться как MAC-адрес для GSSE сообщений. Если в настройке GSSE НАЗНАЧЕНИЕ MAC-АДРЕС не выставлен действительный многоадресный Ethernet MAC-адрес (например, 00 00 00 00 00 00), то устройство UR будет использовать Ethernet MAC-адрес источника как назначение с многоадресным битовым набором[33].

3.1.2 Фиксированный GOOSE

Устройство UR поддерживает оба типа протокола связи МЭК 61850 GOOSE (Общие объектно-ориентированные события на подстанции): фиксированный GOOSE и конфигурируемый GOOSE. Все GOOSE уведомления имеют МЭК 61850 данные, объединенные в набор данных. Именно этот набор данных передается с использованием GOOSE сервисов сообщений. Переданный набор данных, который использует фиксированный GOOSE устройства UR, это - те же самые данные, которые переданы с помощью GSSE функции, т.е. DNA и UserSt битовые пары. Операнды FlexLogic™, которые определяют состояние DNA и UserSt битовых пар конфигурируются через настройки, но фиксированный GOOSE набор данных имеет ту же структуру DNA/UserSt данных. Модернизация GSSE сервисов в GOOSE сервисы - это просто вопрос активизации (разрешения) фиксированного GOOSE протокола и деактивизации (перевод в неактивное состояние) GSSE протокола. Удаленные входы и выходы конфигурируются одинаково как для GSSE, так и для фиксированного GOOSE. Рекомендуется использовать фиксированный GOOSE для тех случаев применения, где требуется передача GOOSE данных между IED-устройствами серии UR. Конфигурируемый GOOSE можно использовать для тех случаев применения, где требуется передача GOOSE данных между IED-устройствами серии UR и устройствами других производителей[33].

3.1.3 Конфигурируемый GOOSE

Функция конфигурируемого GOOSE позволяет конфигурировать наборы данных для передачи и/или приема наборов данных с устройства UR. Устройство UR поддерживает конфигурацию ряда наборов данных передачи и/или приема, что позволяет оптимизировать передачу данных между устройствами. Функция конфигурируемого GOOSE рекомендуется для тех случаев применения, где требуется передача GOOSE данных между IED-устройствами серии UR и устройствами других производителей. Фиксированный GOOSE рекомендуется для тех случаев применения, где требуется передача GOOSE данных между IED-устройствами серии UR.

Передача МЭК 61850 GOOSE сообщений имеет ряд параметров, которые все должны быть корректными для успешной передачи данных. Решающим (особенно важным) является то, что конфигурируемые наборы

данных в передающих и принимающих устройствах точно соответствуют друг другу по структуре данных, и что GOOSE адреса и строки имени точно соответствуют друг другу. Возможна и ручная конфигурация, но можно использовать программное обеспечение сторонней подстанции (третьей стороны, доступной через шлюз сети) для того, чтобы автоматизировать процесс.

Для конфигурации передачи МЭК 61850 элементов данных между двумя устройствами требуются:

1. Конфигурация набора данных для передачи.
2. Конфигурация настроек GOOSE сервиса.
3. Конфигурация данных.

Общие этапы, которые требуются для конфигурации приема данных:

1. Конфигурация набора данных для приема.
2. Конфигурация настроек GOOSE сервиса.
3. Конфигурация данных.

3.1.4 ETHERNET MAC адрес для GSSE/GOOSE

Каждое устройство с возможностями Ethernet имеет уникальный идентифицирующий адрес, который называется MAC-адрес (Управление доступом к среде передачи данных). Этот адрес нельзя изменить, и он является уникальным для каждого произведенного в мире Ethernet-устройства. Длина адреса составляет 6 байтов, и он обычно представляет шесть шестнадцатеричных значений (например, 00 A0 F4 01 02 03). Он используется во всех Ethernet-фреймах как адрес "источника" фрейма. Каждый Ethernet-фрейм также имеет адрес *назначения*. Адрес назначения может быть различным для каждого Ethernet-фрейма, в зависимости от назначения фрейма.

Особый тип адреса назначения, который называется *многоадресным* адресом, используется в тех случаях, когда несколько устройств могут получить Ethernet-фрейм. Ethernet MAC-адрес является многоадресным, когда установлен наименее значимый бит первого байта (например, 01 00 00 00 00 00 - это многоадресный адрес) [33].

GSSE и GOOSE уведомления должны иметь многоадресные MAC-адреса назначения.

По умолчанию, устройство UR сконфигурировано таким образом, чтобы использовать автоматическую многоадресную MAC-схему. Если настройка MAC-адреса назначения устройства UR не является действительным многоадресным адресом (т.е. наименее значимый бит первого байта не установлен), то адрес, который используется как MAC-адрес назначения, должен быть таким же как локальный MAC-адрес, но с выставленным многоадресным битом. Таким образом, если локальный MAC-адрес составляет 00 A0 F4 01 02 03, то MAC-адрес назначения будет 01 A0 F4 01 02 03.

Для обмена терминалами SIPROTEC GOOSE уведомлениями необходимо их предварительно настроить:

- задать IP адрес;
- задать маску подсети;
- присвоить имя IED.

В проекте DIGSI не допустимо наличие устройств с одинаковым IP адресом (IP-адрес) и именем IED (Имя IED) (рисунок 3.1).

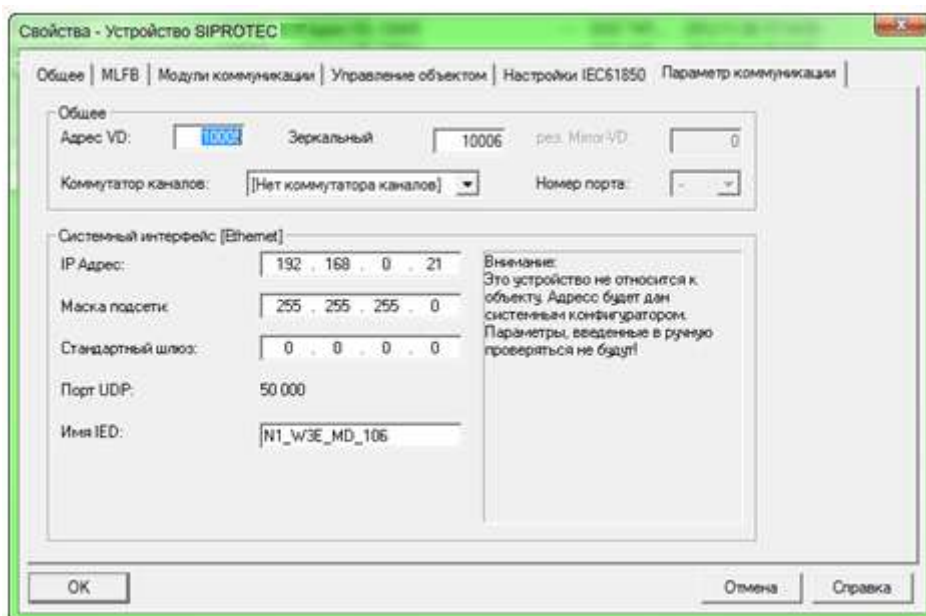


Рисунок 3.1 - Пример настройки терминала в программе DIGSI

3.1.5 Настройки в матрице конфигурирования

Прежде чем перейти к этапу создания GOOSE-сообщений, пользователь должен понимать, какие сигналы требуется передавать посредством протокола *GOOSE*. Кроме этого, ему также должно быть понятно количество сигналов, которые будут извлекаться заданным терминалом из входящих GOOSE-сообщений для дальнейшего использования в логике.

Все сигналы, которые являются выходными сигналами программируемой логики и которые требуется передавать посредством *GOOSE*, требуется назначить на системный интерфейс в столбце Цель (Destination). Лишь только после этого вы будете обладать возможностью их включения в пакет передаваемого *GOOSE*. На системный интерфейс могут быть назначены сигналы типа SP, OUT, DP_I, MV.

Если говорить о стандартных, которые имеют по умолчанию в матрице сигналах (например, пуск или срабатывание одной из ступеней токовых защит), то необходимо уточнить, назначены ли они уже на системный интерфейс или нет. Как правило, они по умолчанию уже имеют такое назначение.

Пользовательские сигналы представляющиеся в виде объектов данных одного или различных логических узлов GGIO (размещаются в логическом устройстве CTRL). Стандартные же сигналы имеют обозначение в соответствии с моделями классов логических узлов и данных, описанными в главах МЭК 61850-7-3 и 7-4 (например, для токовых защит применим логический узел PTOC и соответствующие ему объекты данных пуска Str и срабатывания Op).

Все сигналы отличаются по принадлежности к определенному логическому узлу GGIO (что определяется префиксом GGIO) и по номеру, которые можно уточнить в свойствах сигнала во вкладке МЭК 61850 при их создании (рисунок 3.2).

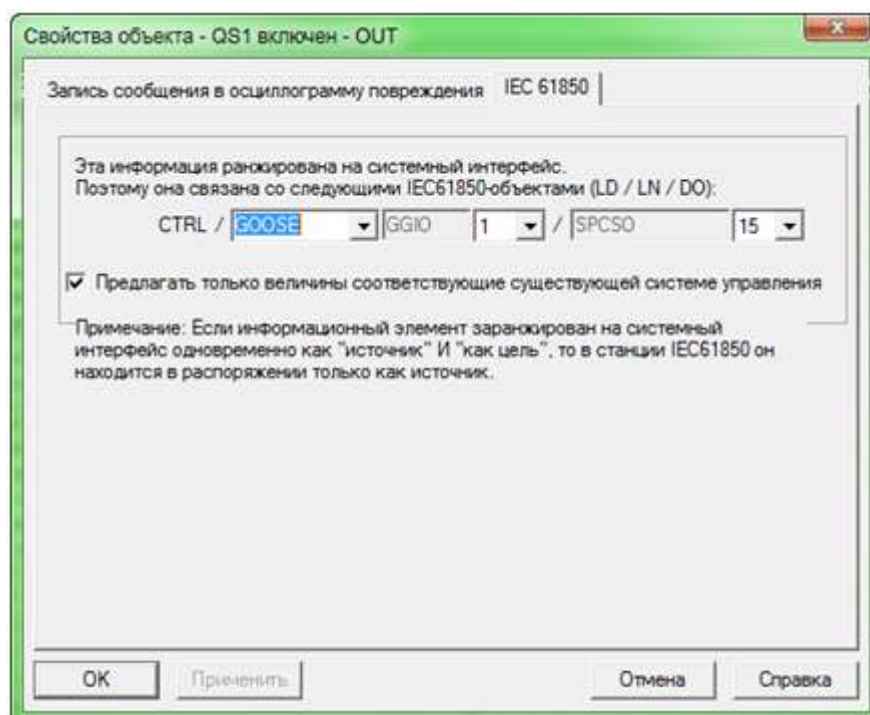


Рисунок 3.2 - Свойства сигнала при назначении в качестве его назначения (цели) системного интерфейса

3.1.6 Создание сигналов для назначения принимаемых по GOOSE сигналов

Для того, чтобы в дальнейшем иметь возможность назначить сигнал из входящего GOOSE- уведомлений на внутренний сигнал терминала требуется предварительно создать его в матрице конфигурирования. Сигнал должен иметь тип ExSP, ExDP_I, MVU. В качестве источника для каждого такого сигнала необходимо указать системный интерфейс. Точно также как и в случае создания сигнала для передачи посредством GOOSE необходимо указать принадлежность к определенному логическому узлу и номер сигнала (рисунок 3.3).

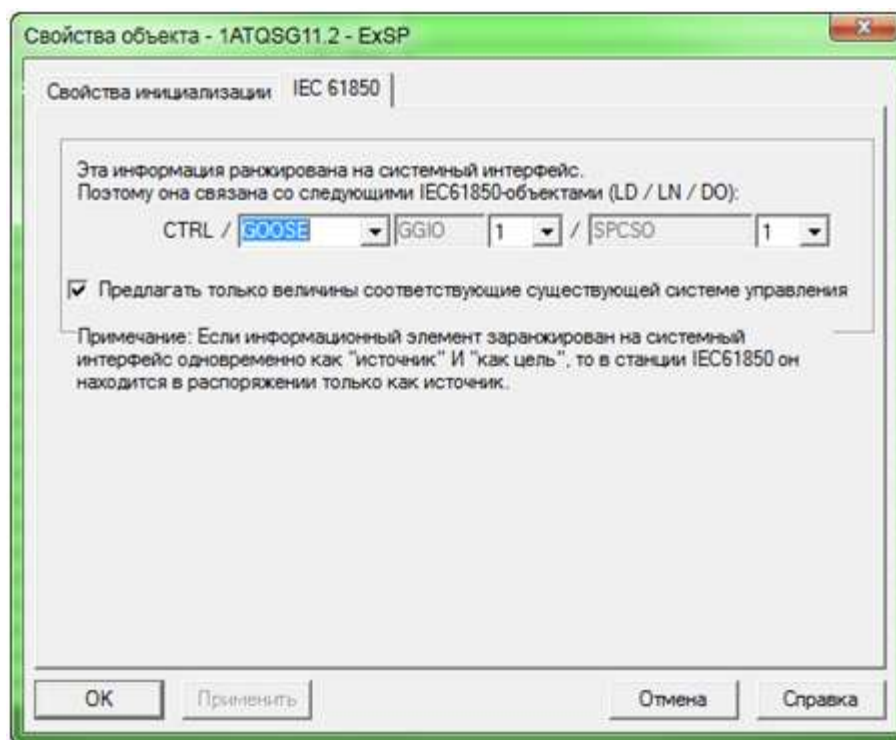


Рисунок 3.3 - Свойства сигнала при указании в качестве его источника системный интерфейс

3.2 Процесс конфигурирования IED-устройств

Для протокола МЭК 61850, устройство UR можно сконфигурировать с помощью различных программы (например AcSELeator Architect, DIGSI, EnerVista UR Setup) следующим образом [33]:

1. ICD-файл генерируется для устройства UR программой, которая описывает функциональные возможности IED-устройства.
2. Затем этот ICD-файл импортируется в конфигуратор системы вместе с другими ICD-файлами для других IED- устройств (производства компании GE или других производителей) для конфигурации системы.
3. Результат остается в SCD-файле, далее происходит импортирование обратно в программу для создания одного или нескольких файлов настроек. Файл(ы) настроек можно затем применить для улучшения реле (устройств РЗ) на базе новой информации о конфигурации[33].

Процесс конфигурации продемонстрированы ниже:

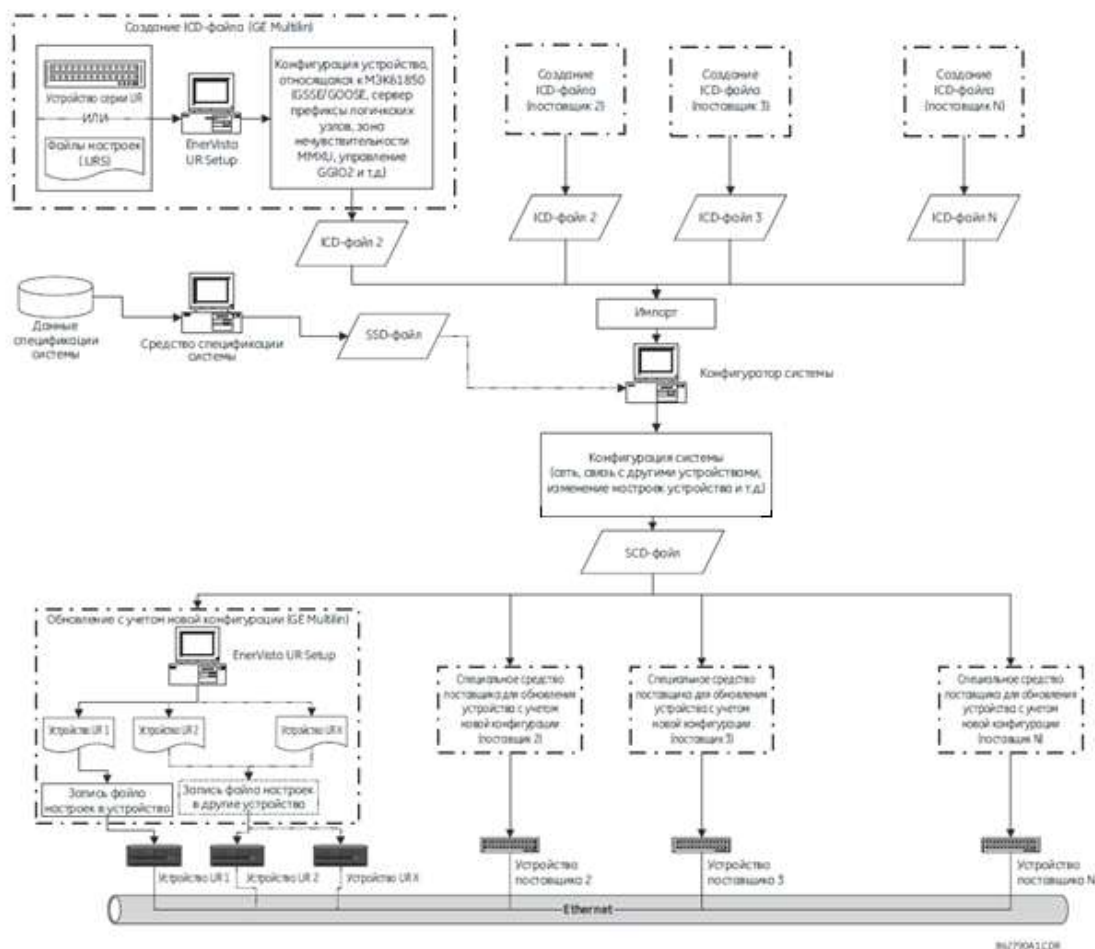


Рисунок 3.4 – Процесс конфигурирования IED- устройств

В процедуре описания процесса конфигурации IED-устройств для протокола МЭК 61850 используются следующие акронимы и аббревиатуры [33]:

- BDA (Basic Data Attribute): базисный (основной) атрибут данных, который не структурирован;
- DAI (Instantiated Data Attribute): конкретизируемый атрибут данных;
- DO (Data Object): тип или экземпляр объекта данных, которые зависят от контекста;
- DOI (Instantiated Data Object): конкретизируемый объект данных;
- IED (Intelligent Electronic Device): микропроцессорное электронное устройство (IED-устройство);
- LDInst (Instantiated Logical Device): конкретизируемое логическое устройство;
- LNInst (Instantiated Logical Node): конкретизируемый логический узел;
- SCL (Substation Configuration Description Language): язык описания конфигурирования подстанции. Язык конфигурирования - это приложение расширяемого языка разметки (XML) версия 1.0.;
- SDI (Instantiated Sub DATA): средняя часть структурированного имени данных;

- UR: Серия универсальных устройств релейной защиты, производства GE Multilin;
- URI (Universal Resource Identifier): Унифицированный идентификатор ресурса;
- URS (UR-series relay setting file): файл настроек устройств релейной защиты серии UR;
- XML (Extensible Markup Language): расширяемый язык разметки используются также следующие SCL варианты;
- ICD (IED Capability Description): Описание возможностей IED-устройств ;
- CID (Configured IED Description): Описание возможностей IED-устройств;
- SSD (System Specification Description): Описание спецификации системы;
- SCD (Substation Configuration Description): Описание конфигурирования подстанции.

В процедурах упоминаются следующие инструменты, связанные с протоколом МЭК, которые описывают процесс конфигурирования IED-устройств для протокола МЭК 61850 [33]:

Системный конфигуратор или конфигуратор подстанции: Это инструмент независимого уровня системы IED-устройств, который может импортировать или экспортировать файлы конфигурации, определенные протоколом IEC 61850-6. Он может импортировать файлы конфигурации (ICD) из нескольких IED-устройств для инжиниринга системного уровня и применяется для того, чтобы добавить информацию, которой обмениваются IED-устройства. Системный конфигуратор генерирует соответствующий файл конфигурирования подстанции (SCD-файл), который возвращается обратно в конфигуратор IED-устройства для конфигурирования связанных с системой IED-устройств. Системный конфигуратор должен также считывать файл описания спецификации системы (SSD), который используется как основа для начала (инициирования) инжиниринга системы или для сравнения его с заказной (skonfigurirovannoy) системой для той же подстанции [33].

Конфигуратор IED-устройств: Это специфический инструмент фирмы-поставщика, который непосредственно (через панель) или опосредованно (через ПО) создаст файл описания возможностей IED-устройств (ICD- файл) с IED-устройств (например, из файла настроек). Он может также импортировать системный SCL-файл (SCD) для настройки параметров конфигурации связи (т.е. необходимых адресов, GOOSE баз данных приема, ID входящих GOOSE набора данных и т.д.) для IED-устройств [33].

3.3 Настройки конфигурирования протокола МЭК 61850

Перед тем как создать ICD-файл, пользователь должен улучшить требуемые настройки МЭК 61850 [33].

К примеру, имя IED-устройства и экземпляр (реализация, реализованное) логического устройства можно указать таким образом, что они будут неодинаково идентифицировать IED-устройство на подстанции. Или GOOSE набор данных передачи можно создать таким образом, что конфигуратор системы может сконфигурировать cross-communication links (дуплексную связь) для отправки GOOSE-сообщений с IED-устройства. После конфигурации настроек МЭК 61850, процесс создания ICD-файла распознает эти изменения и генерирует (создает) ICD-файл, который будет иметь обновленные настройки.

К примеру, можно назначить новый IP-адрес, добавить или удалить элементы строк в GOOSE наборе данных передачи или изменить префиксы каких-нибудь логических узлов. Пока все новые конфигурации распределяются (преобразовываются) в файл настроек устройства UR при импортировании SCD-файла, все неизменяемые настройки сохраняют те же значения в новом файле настроек [33].

Эти настройки можно сконфигурировать или непосредственно через панель реле, или через программное обеспечение. Полный список соответствующих МЭК 61850 настроек приводится ниже:

- конфигурация сети: IP-адрес, IP-маска подсети и IP-адрес шлюза по умолчанию.
- конфигуратор сервера: имя IED-устройства и экземпляр (реализация, реализованное) логического устройства.
- префиксы логических узлов, включая префиксы для всех логических узлов, кроме LLN0.
- MMXU зоны нечувствительности, которые имеют зоны нечувствительности для всех имеющихся MMXU.

Число MMXU соответствует количеству модулей ТТ/ТН в устройстве релейной защиты. Для каждого модуля ТТ/ТН предоставляются два MMXU. Например, если устройство релейной защиты имеет два модуля ТТ/ТН, то предоставляются четыре MMXU.

- конфигурация состояния GGIO1, которая имеет ряд точек состояния в GGIO1, так же как предполагаемые внутренние преобразования для каждого GGIO1 показателя. Однако в процессе создания ICD-файла будет использоваться только число точек состояния.

- GGIO2 управление конфигурацией, которая имеет ctlModels (управляющие модели) для всех SPCSO, входящих в GGIO2 [33].

- конфигурируемая передача GOOSE-сообщений имеет восемь конфигурируемых баз данных, которые могут использоваться для передачи GOOSE-сообщений. Для каждого набора данных можно указать GOOSE ID (он должен быть уникальным как в (для) IED-устройства, так и на (для) всей

подстанции), а также MAC-адрес назначения, VLAN (виртуальная локальная сеть) приоритет, VLAN ID, ETYPE APPID (идентификационное имя ETYPE приложения) и элементы набора данных. Выбор элемента набора данных ограничивается версией базового ПО. Для версии 5.2x корректным выбором являются только GGIO1.ST.Indx.stVal и GGIO1.ST.Indx.q (где x находится в диапазоне 1 ... N, а N определяется числом GGIO1 точек состояния). Несмотря на то, что конфигурируемую передачу GOOSE-сообщений также может создать и изменить программа-конфигуратор сторонней подстанции (третьей стороны, доступной через шлюз сети), рекомендуется сконфигурировать передачу GOOSE- уведомлений для IED-устройств производства GE Multilin до того, как создавать ICD-файл [33].

- конфигурируемый прием GOOSE-сообщений имеет восемь конфигурируемых баз данных, которые могут использоваться для приема GOOSE-сообщений. Однако, в отличие от наборов данных для передачи, наборы данных для приема содержат только элементы набора данных, и они обычно создаются автоматически в ходе процесса импортирования SCD-файла.

- для каждого набора данных можно указать GOOSE ID (он должен быть уникальным как в (для) IED-устройства, так и на (для) всей подстанции), а также MAC-адрес назначения, VLAN (виртуальная локальная сеть) приоритет, VLAN ID, ETYPE APPID (идентификационное имя ETYPE приложения) и элементы набора данных [33].

Выбор элементов набора данных ограничивается версией базового ПО. Для версии 5.2x корректным выбором являются только GGIO1.ST.Indx.stVal и GGIO1.ST.Indx.q (где x находится в диапазоне 1 ... N, а N определяется числом GGIO1 точек состояния). Несмотря на то, что конфигурируемую передачу GOOSE-сообщений также может создать и изменить программа-конфигуратор сторонней подстанции (третьей стороны, доступной через шлюз сети), рекомендуется сконфигурировать передачу GOOSE- уведомлений для IED-устройств производства GE Multilin до того, как создавать ICD-файл [33]:

- конфигурация удаленных устройств, в которую входит ID удаленного устройства (GOOSE ID или GoID входящей передачи GOOSE набора данных), ETYPE APPID (идентификационное имя ETYPE приложения) (блока GSE связи входящей передачи GOOSE), и НАБОРА ДАННЫХ (который является именем соответствующего GOOSE набора данных приема). Эти настройки обычно создаются (выставляются) автоматически в ходе процесса импортирования SCD-файла.

- конфигурация удаленных входов, в которую входят параметры устройства (ID удаленного устройства) и параметры элемента (которые являются элементом набора данных в соответствующем GOOSE наборе данных передачи для преобразований. Преобразовываться должны только элементы с перекрестной связью, созданные в SCD-файле [33].

3.4 Об ICD-файлах

Язык SCL основан на XML, и описание синтаксиса определено как W3C XML Схема. ICD-файл - это один из типов SCL-файла (в который входят также SSD, CID и SCD файлы). ICD-файл показывает возможности IED-устройства и состоит из четырех главных секций [33]:

- Заголовок
- Связь
- IED-устройства
- Шаблоны типов данных.

Структура корневого ICD-файла представлена ниже:

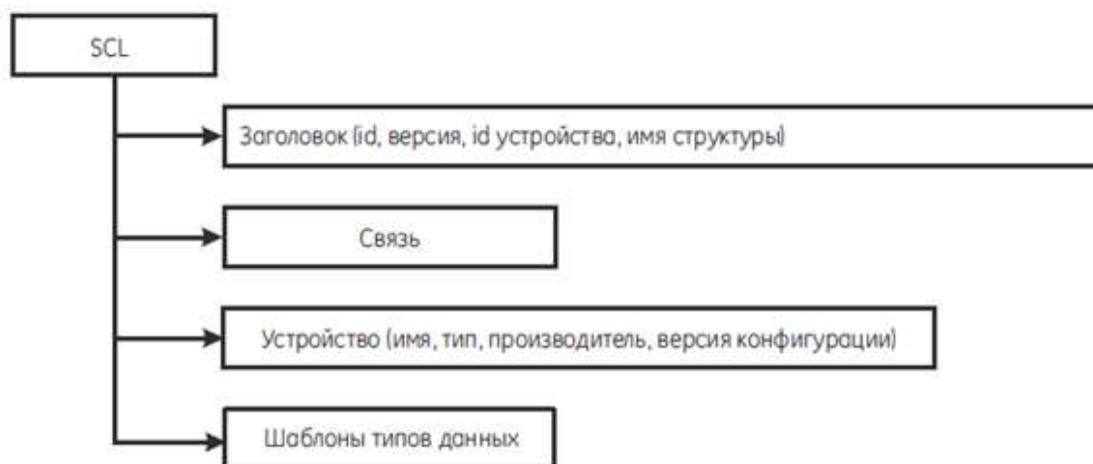


Рисунок 3.5 – Структура ICD-файла, SCL (корневой) узел

Узел Заголовок распознает ICD-файл и его версию, и определяет опции для трансформации имен в сигналы[33].

Узел Связь описывает возможность соединения прямой связи между логическими узлами посредством логических шин (подсетей) и портов доступа к IED-устройствам. Секцию Связь следует построить таким образом:

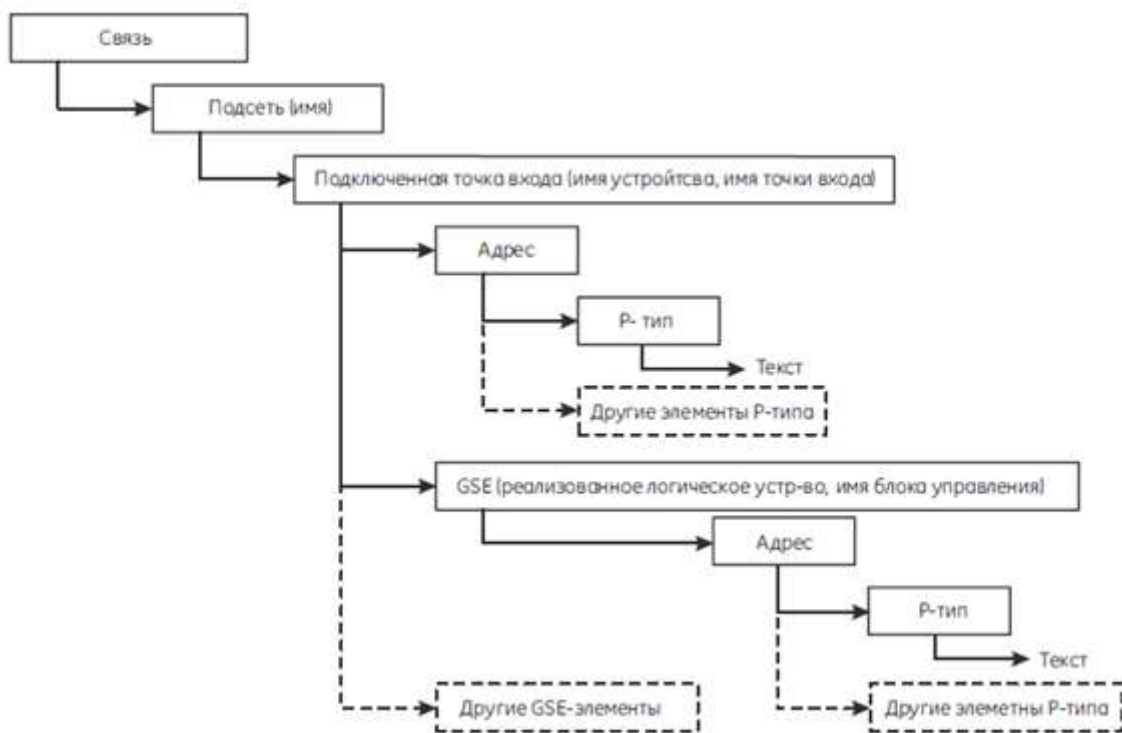


Рисунок 3.6 – Структура ICD-файла, узел "Связь"

Логический узел подсети имеет все точки доступа, которые могут иметь (логическую) связь с протоколом подсети и без промежуточного маршрутизатора. Логический узел ConnectedAP (Точка доступа соединения) описывает точку доступа IED-устройств, подсоединенных к этой подсети. Логический узел Адрес имеет параметры адреса точки доступа. Логический узел GSE обеспечивает элемент адреса для определения (состояния) блока управления, соответствующего параметрам адреса, где IdInst - это идентификационное имя экземпляра (реализации, реализованного) логического устройства в IED-устройстве, в (на) котором расположен управляющий блок, а cbName - это имя управляющего блока. Логический узел IED описывает точку пре-(конфигурацию) IED-устройства: его точки доступа, логические устройства и логические узлы, реализованные в (на) нем. Более того, он определяет возможности IED-устройства с точки зрения предложенных сервисов связи и, учитывая его LN-тип (тип логического **узла**), реализованные данных (DO - объект данных) и параметры конфигурации или параметры по умолчанию. В ICD-файле должна быть только одна секция IED-устройства, поскольку она описывает только одно IED-устройство [33].

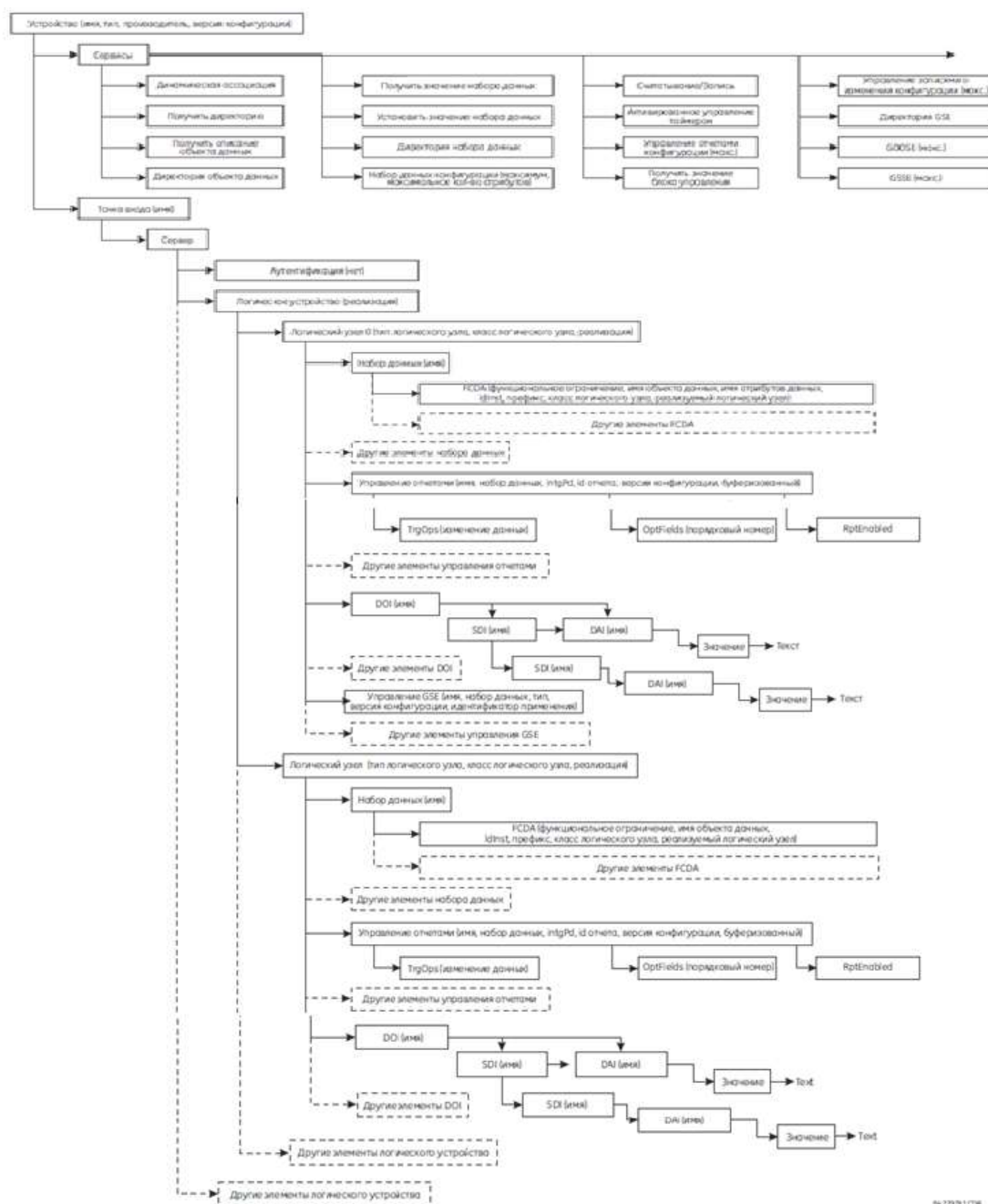


Рисунок 3.7 – Структура ICD-файла, логический узел IED-устройств

Логический узел Шаблоны типа данных определяет предусматривающие реализацию типы логических узлов. Тип логического узла - это предусматривающий реализацию шаблон данных логического узла. Тип лог. Узла определяется каждый раз, когда для IED-устройства требуется этот предусматривающий реализацию тип. Шаблон типа логического узла строится из элементов данных DATA (DO - объект данных), которые опять же имеют тип объектов данных (DO), производный от классов данных DATA (CDC). Объекты данных (DO) состоят из атрибутов данных (DA) или элементов уже определенных типов объектов данных (DO) (SDO). Атрибут

данных (DA) имеет функциональный лимит и может или иметь начальный (общий) тип, быть перечислением, или иметь структуру типа атрибутов данных (DA). Тип атрибутов данных (DA) строится из BDA элементов, определяющих элементы структуры, которые опять же могут быть BDA элементами или иметь базисный (общий) тип, как атрибуты данных (DA) [33].

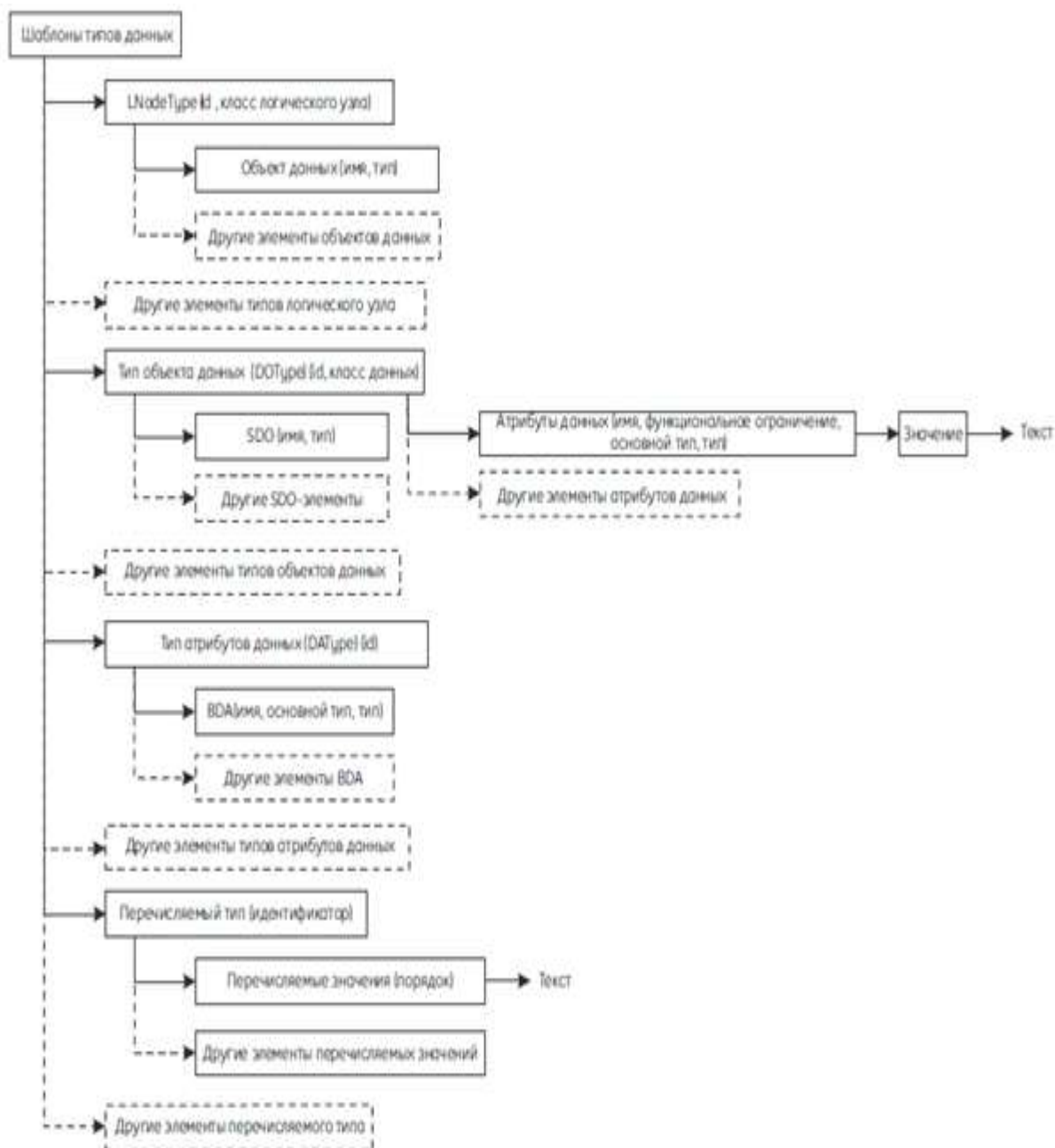


Рисунок 3.8 – Структура ICD-файла, логический узел "Шаблоны типов данных"

3.5 О SCD-файлах

Системная конфигурация обеспечивается в системном конфигураторе. Многие компании- производители разрабатывают свои собственные инструменты системной конфигурации, хотя на рынке имеются и некоторые другие системные конфигураторы[33].

Хотя инструменты конфигурации различаются у различных производителей, процедура практически аналогична.

Во-первых, требуется создать проект подстанции или как пустой шаблон, или с какой-либо системной информацией, импортируя файл системной спецификации (SSD). Затем к подстанции добавляются IED-устройства. Поскольку каждое IED-устройство представлено соответствующим ICD-файлом, ICD-файлы импортируются в проект подстанции, а системный конфигуратор проверяет достоверность ICD-файлов во время процесса импортирования. Если ICD-файлы успешно импортированы в проект подстанции, возможно, потребуется дополнительно выполнить некоторые небольшие действия (операции), чтобы добавить IED-устройства к подстанции.

Как только все IED-устройства вводятся в подстанцию, можно продолжить конфигурацию следующим образом:

- назначить адреса сети индивидуальным IED-устройствам;
- назначить в соответствии с требованиями заказчика префиксы логических узлов Создать перекрестную связь (конфигурируя GOOSE-уведомления для их передачи от одного IED-устройства к другим).

По завершении системных конфигураций, результаты сохраняются в SCD-файле, в котором содержится не только конфигурация для каждого IED-устройства на подстанции, но также и системная конфигурация для всей подстанции. Наконец, SCD-файл возвращается обратно в IED-конфигуратор (специфический инструмент компании- производителя) для обновления нового конфигуратора в IED-устройство[33].

SCD-файл, как минимум, состоит из пяти основных секций:

- Заголовки
- Подстанция
- Связь
- IED-секция (одна или более)
- Шаблоны типа данных

Структура корневого файла SCD-файла представлена ниже:



Рисунок 3.9 – Структура SCD-файла, (корневой) SCL-файл

Подобно ICD-файлам, логический узел Заголовок идентифицирует SCD-файл или его версию и определяет опции для преобразования данных имен в сигналы[33].

Логический узел Подстанция описывает параметры подстанции:



Рисунок 3.10 – Структура SCD-файла, логический узел «Подстанция»

Логический узел Связь описывает возможности прямого соединения между логическими узлами посредством (через) логические шины (подсети) и IED-порты доступа. Секция Связь имеет следующую структуру[33]:

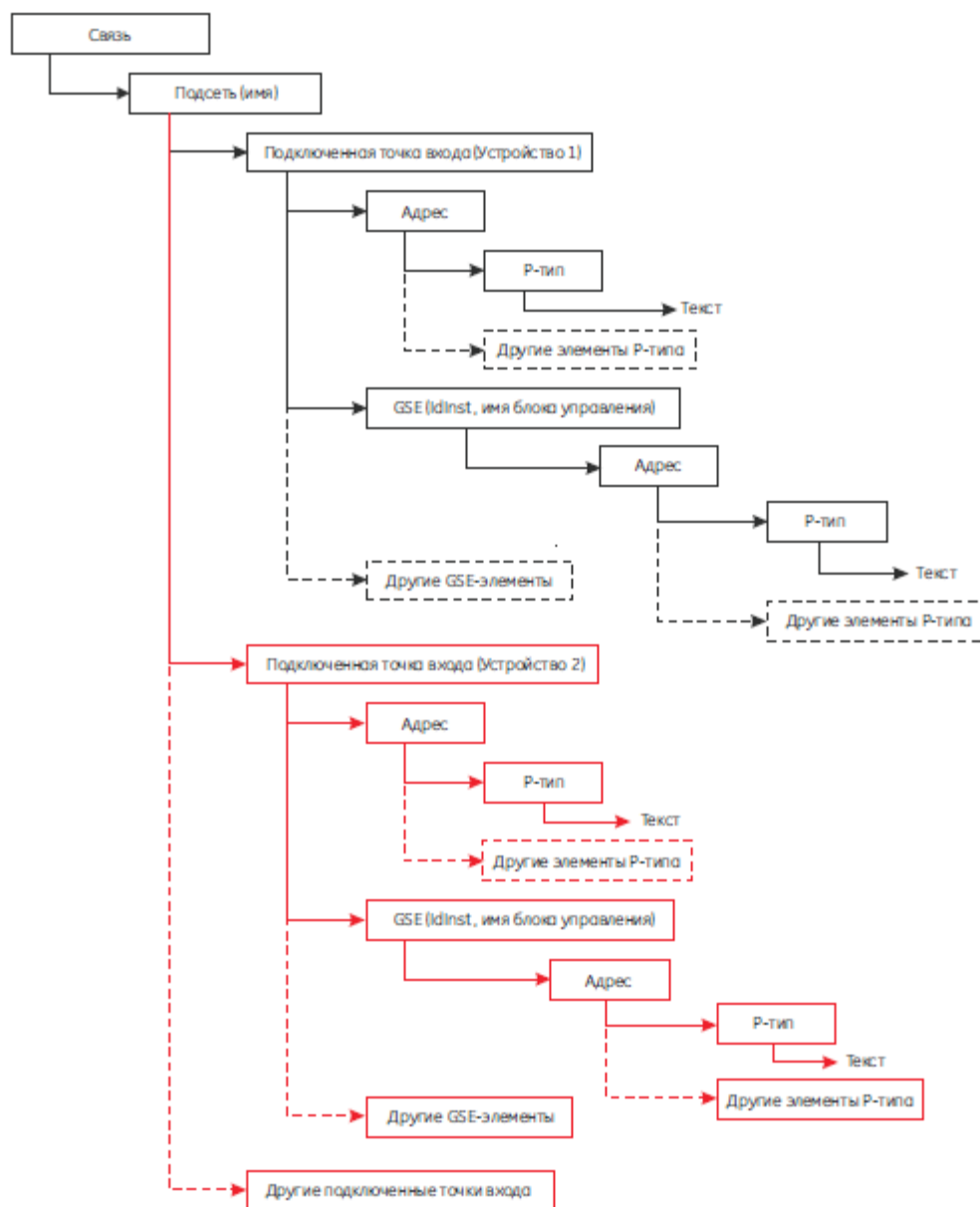


Рисунок 3.11 – Структура SCD-файла, логический узел «Связь»

Логический узел Подсеть содержит все точки доступа, которые могут (логически) образовать связь с протоколом подсети и без промежуточного маршрутизатора. Логический узел Точка доступа соединяет точку доступа подсоединения IED-устройства к этой подсети. Логический узел Адрес содержит параметры адреса точки доступа[33].

Логический узел GSE обеспечивает элемент адреса для определения состояния управляющего блока с соответствующими параметрами адреса, где IdInst - это идентификационное имя экземпляра (реализации, реализованного)

логического устройства в IED-устройстве, в (на) котором расположен управляющий блок, а с b Name - это имя управляющего блока.

Логический узел Секция IED-устройства описывает конфигурацию IED-устройства[33].

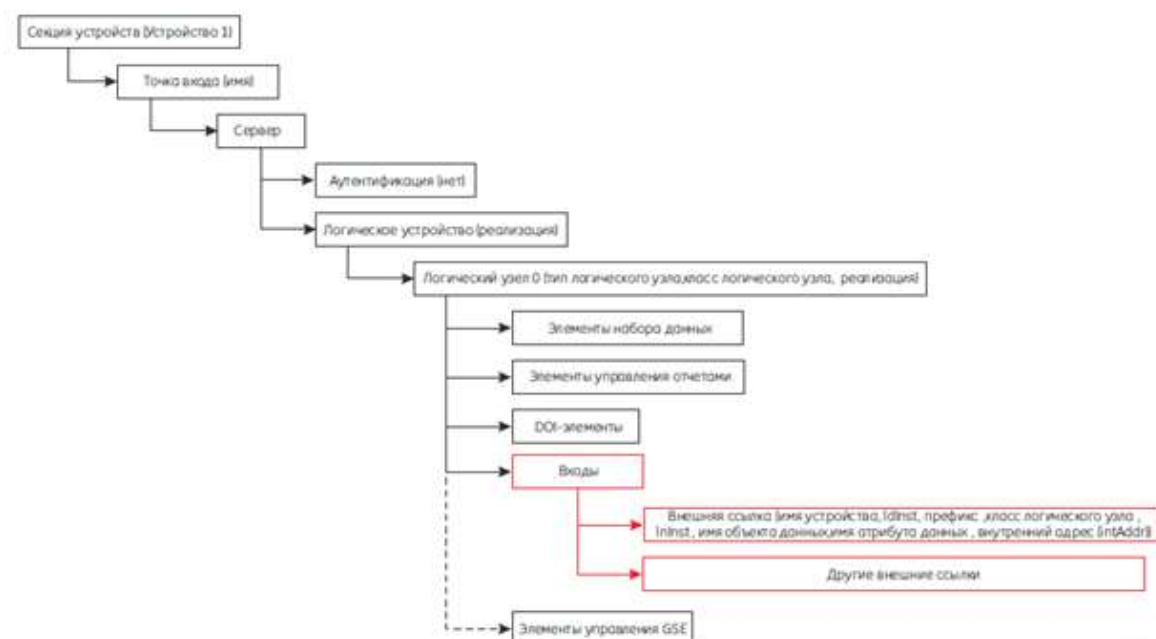


Рисунок 3.12 – Структура SCD-файла, логический узел «IED-устройств»

4 Исследование передачи сигналов по станционной шине по протоколу МЭК 61850 08-1 GOOSE между интеллектуально – электронными устройствами РЗА в распределительных сетях 10-35 кВ в компании Шнейдер Электрик

4.1 Методика эксперимента передачи GOOSE сигналов

Работа по исследованию передачи сигналов по протоколу МЭК 61850-8-1 (GOOSE) проводилась между устройствами РЗА Sepam-80 T87 и Sepam-80 T87 (терминалы дифференциальной защиты трансформаторов) с портами для оптического присоединения, модуль связи Schneider Electric ACE850FO, коммутатор компании SIEMENS OSM TP62 по топологии – «кольцо». Исследования проводились на базе разработанных стендов кафедрой ЭПП (электроснабжение промышленных предприятий) НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи» в лаборатории релейной защиты. После приобретения и монтажа оборудования на ранее разработанном стенде, появилась возможность реализовать многие преимущества цифровой подстанции, заменяя все медные кабели на значительно меньшее количество оптоволоконных кабелей для исследования передачи сигналов между терминалами по шине процесса и станционной шине.

Задача исследования, определить возможно ли передача сигналов по станционной шине по протоколу МЭК 61850 08-1 GOOSE между интеллектуально – электронными устройствами РЗА.

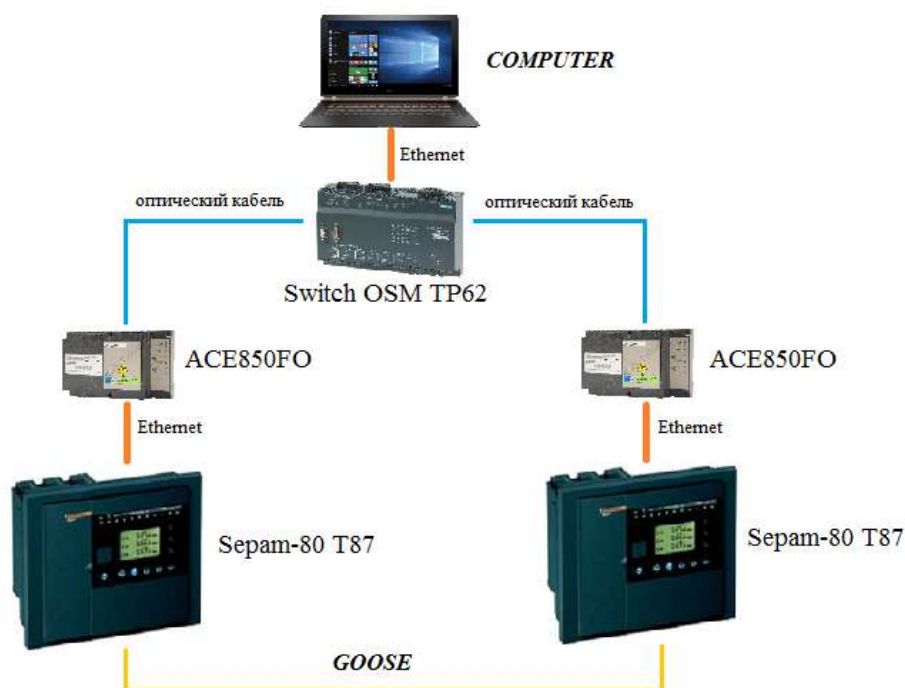


Рисунок 4.1 – Условное соединение между устройствами



Рисунок 4.2 - Лабораторный стенд «Элементы цифровой подстанции между терминалами Sepam Series 80» компании Schneider Electric.

4.2 Анализ сетевой топологии

Существуют две самых распространенных сетевых топологий: топология «звезда» и «кольцо». Среди набора сетевых топологий, которые также включают в себя топологию «шина», древовидную структуру или смешанную сеть, эти два вида воплотили в себе единственное решение наших практических вопросов [38].

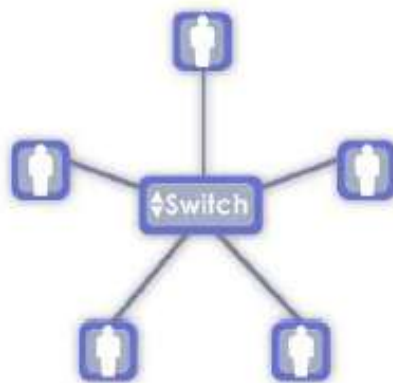


Рисунок 4.3 - Топология звезда

В сетях Ethernet интеллектуальный коммутатор представляет собой распределитель данных, и в результате вытеснил старый неинтеллектуальный концентратор. Некоторые устройства, с другой стороны, должны иметь непосредственное физическое соединение. Устройства, могут быть не только компьютерами, но и устройствами защиты и автоматизации. В сети Ethernet в соответствии с МЭК 61850 даже маршрутизаторы и серверы времени могут стать участниками обмена данными [38].

Топология «звезда» обладает высокой скоростью передачи, ясной и понятной структурой, которую можно легко расширить, хотя монтаж кабеля может быть трудным. Неисправность одного устройства не повлияет на работу всей системы.

С другой стороны, неисправный распределитель нарушит работу всей сети. В структуре кольца каждое периферийное устройство подключено напрямую к двум другим устройствам, в результате чего образуется замкнутая кольцевая система.

В данном случае, данные передаются от устройства к устройству, пока не достигнут места назначения. Раньше это было бы проблемой, если бы в кольце появился разрыв. Сегодня этот аргумент больше не действителен: если кольцо повреждено в одном из участков, то система автоматически изменит свой режим работы на линейную топологию; обмен данными можно продолжать практически без остановки. Как мы можем видеть, коммутаторы также играют в этом важную роль [38].

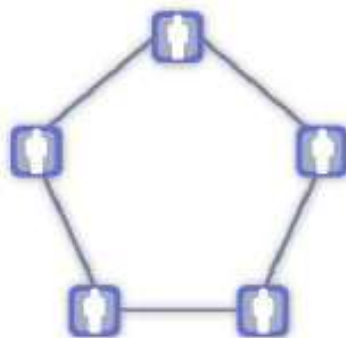


Рисунок 4.4 – Топология кольцо

Схема подключения «звезда» сейчас является наиболее используемой для небольших сетей. Это является следствием несложной (в плане аппаратной части) прокладки, что позволяет быстро выполнить установку, особенно для небольших сетей. Несколько кабелей и распределитель (коммутатор или концентратор) – этого достаточно, если требования надежности не имеют значения [38].

Рисунок 4.5 представляет самую простую в мире схему подключения «звезда», уменьшенную до основной модели.

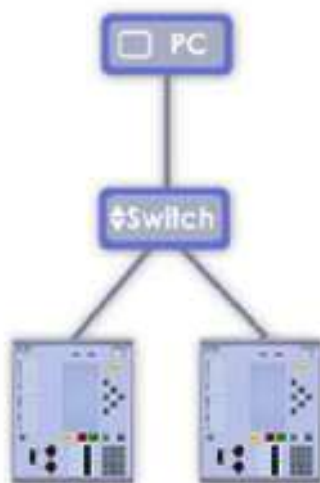


Рисунок 4.5 – Схема подключения терминалов «звезда»

Основа топологии «звезда»: Простая структура, но при этом отсутствие избыточного резервирования.

В топологии такого вида минимум, что необходимо - это так называемый коммутатор, который соединяет отдельные устройства друг с другом. На нашем рисунке их только три (2 x Server 80, 1 x ПК). Что важно, несколько устройств могут быть подключены к одному коммутатору.

Насколько много зависит от того, сколько портов имеет коммутатор. Если одного коммутатора недостаточно для всех устройств или этого требует

локальная ситуация, то также можно использовать и несколько коммутаторов. Затем они соединяются вместе. В таком случае, можно реализовать и более сложные системы. [38].

Что касается соединения в кольцо, то следует отдать предпочтение оптоволоконным кабелям. Если коммутаторы работают как усилители, то легко можно установить связь на расстоянии нескольких километров. Затем также, подключаются отдельные устройства к коммутаторам с помощью оптоволоконных кабелей или, если расстояние небольшое, то можно также использовать электрические кабели.

4.3 Настройка конфигурации модуля связи ACE850

Для настройки модуля связи ACE850 в программе SFT2841 открываем окно Sepam configuration (Конфигурация реле защиты Sepam Series 80) (см. рис. 4.6);

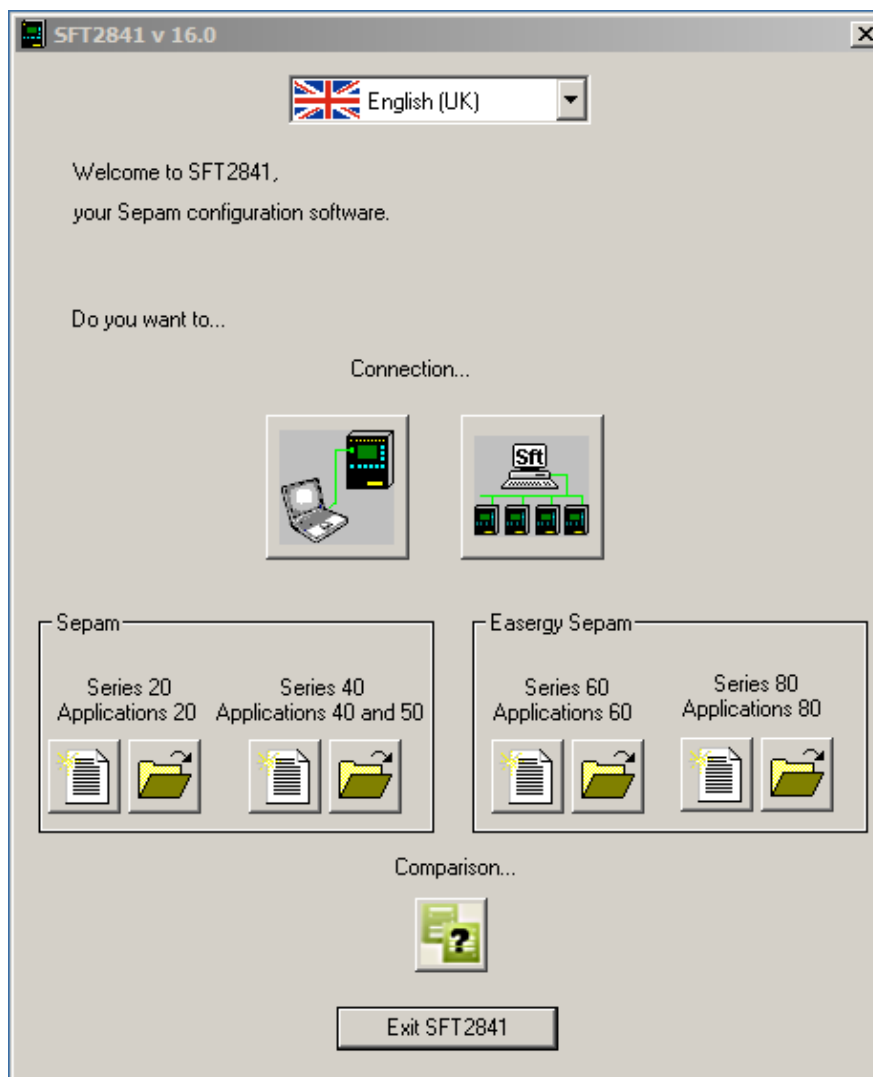


Рисунок 4.6 – Начальное окно программы SFT2841

В начальном окне программы SFT2841 следует выбрать порт связи с Ethernet и нажать на соответствующую кнопку в окне Communication configuration (Конфигурация связи);

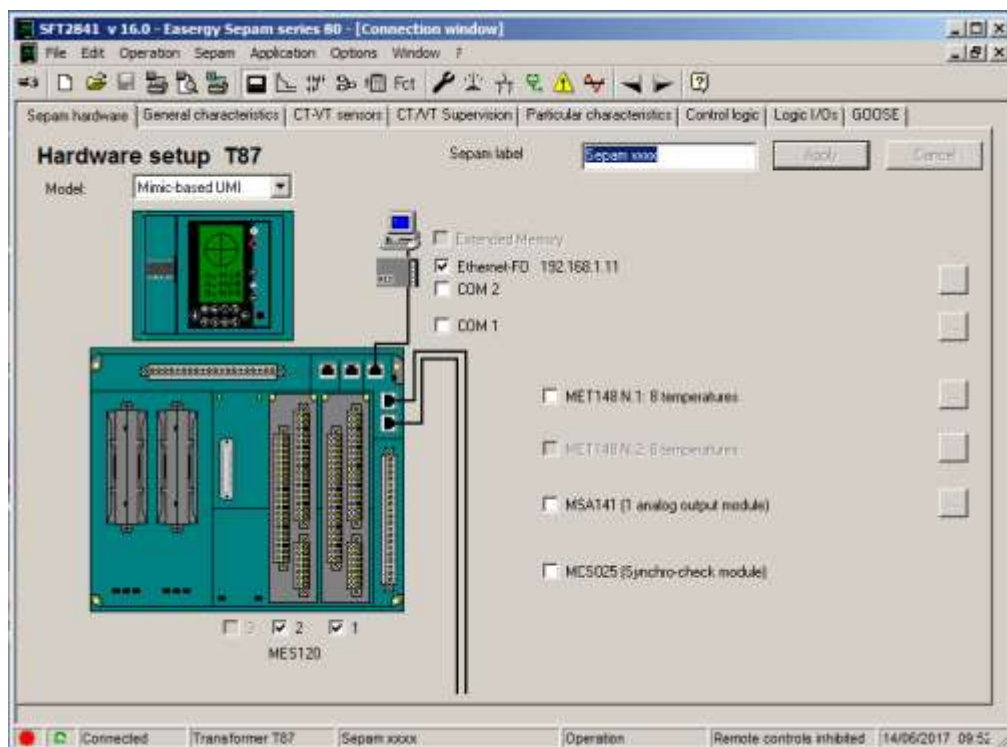


Рисунок 4.7 – экран настройки конфигурации P3 Sepam серии 80

Далее настраиваем конфигурации сети Ethernet:

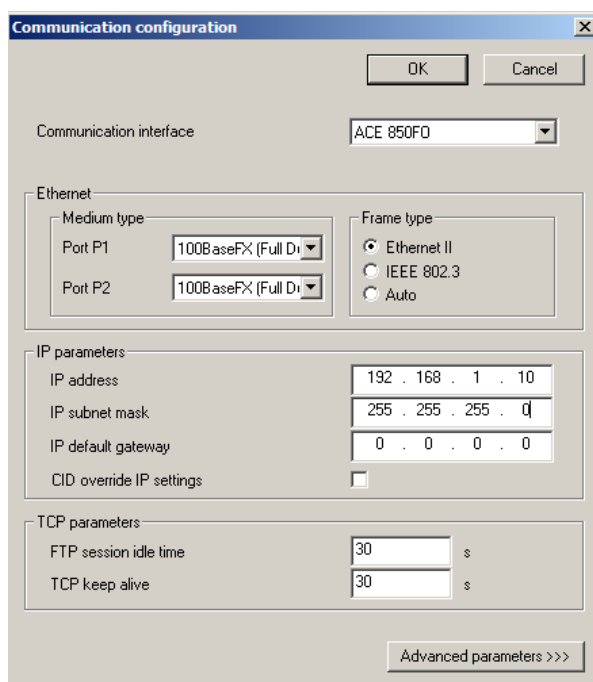


Рисунок 4.8 – Настройка конфигурации сети Ethernet

4.4 Настройка конфигурации протокола МЭК 61850 с помощью программы настройки конфигурации CET850

Программа CET850 позволяет создать, изменять и отображать файлы конфигурации МЭК 61850 в формате SCL (Substation Configuration Language, SCL – язык описания конфигурации подстанции). В частности, она используется для создания и редактирования следующих файлов:

- ICD – Описание характеристик интеллектуального электронного устройства (IED);
- IID – Определенное описание IED;
- CID – Описание сконфигурированного IED;
- SCD – Описание конфигурации подстанции.

Программа CET850 позволяет редактировать CID- и SCD-файлы, созданные программой SFT2841, и таким образом настраивать конфигурацию Seram МЭК 61850 в соответствии с потребностями системы. Эта программа предоставляет больше возможности, чем программа SFT2841.

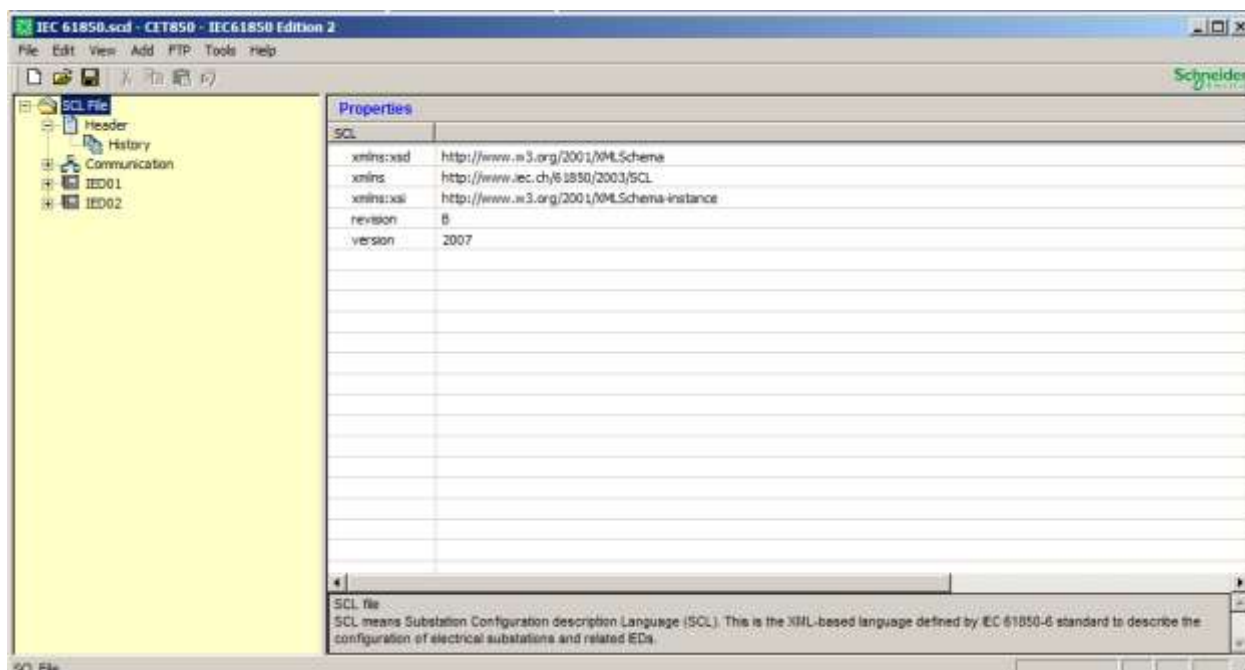


Рисунок 4.9 – Создание новой станции на базе программы CET850

Далее добавление и конфигурирование IED-устройства в систему МЭК 61850:

Устройство IED МЭК 61850 применяет для связи точку доступа (Access Point, AP). Подключение этой точки доступа должна быть произведена к подсети. Конфигурацию IED-устройств, описывается в ICD-, CID- или SCD-файле, можно изменять, редактируя профиль связи и параметры устройства в соответствии с потребностями системы. С помощью программы CET850 я:

- создал и изменял набор данных;

- создал блок управления отчетом;
- регулировал зону нечувствительности;
- создал и изменял управляющий блок GOOSE- уведомления;
- подписался на GOOSE- уведомления и назначил GOOSE-входы в устройстве Sepam.

Мои работы на программе CET850 показаны на рисунках 4.10 – 4.13:

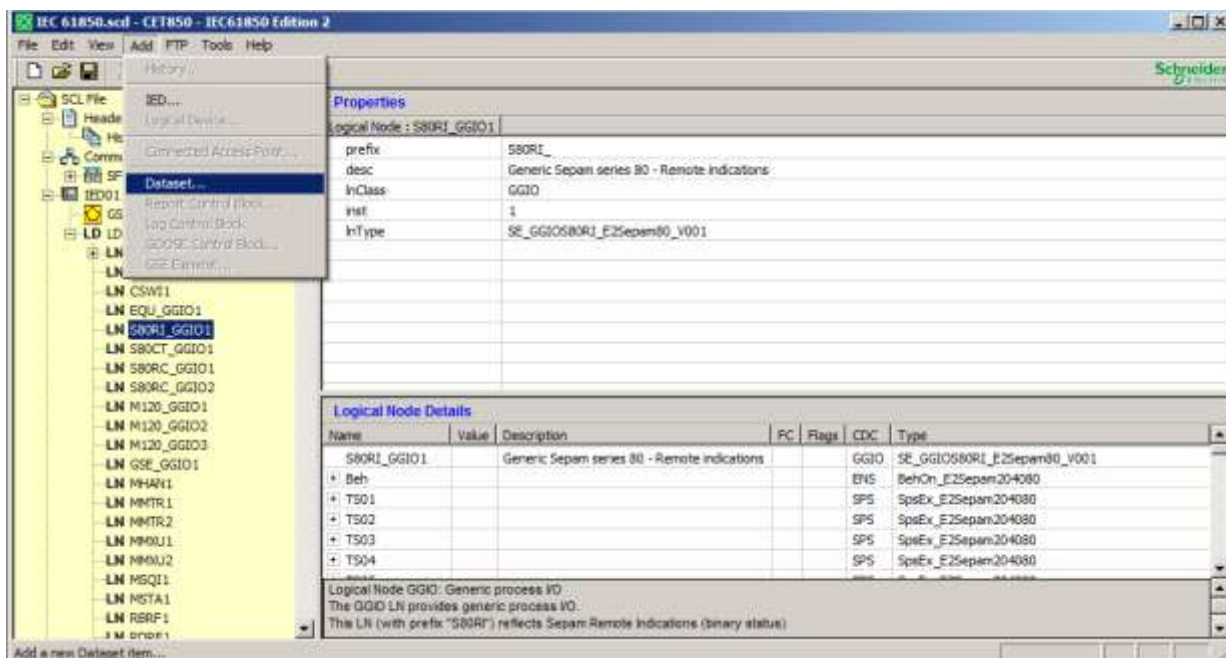


Рисунок 4.10 – Добавление набора данных

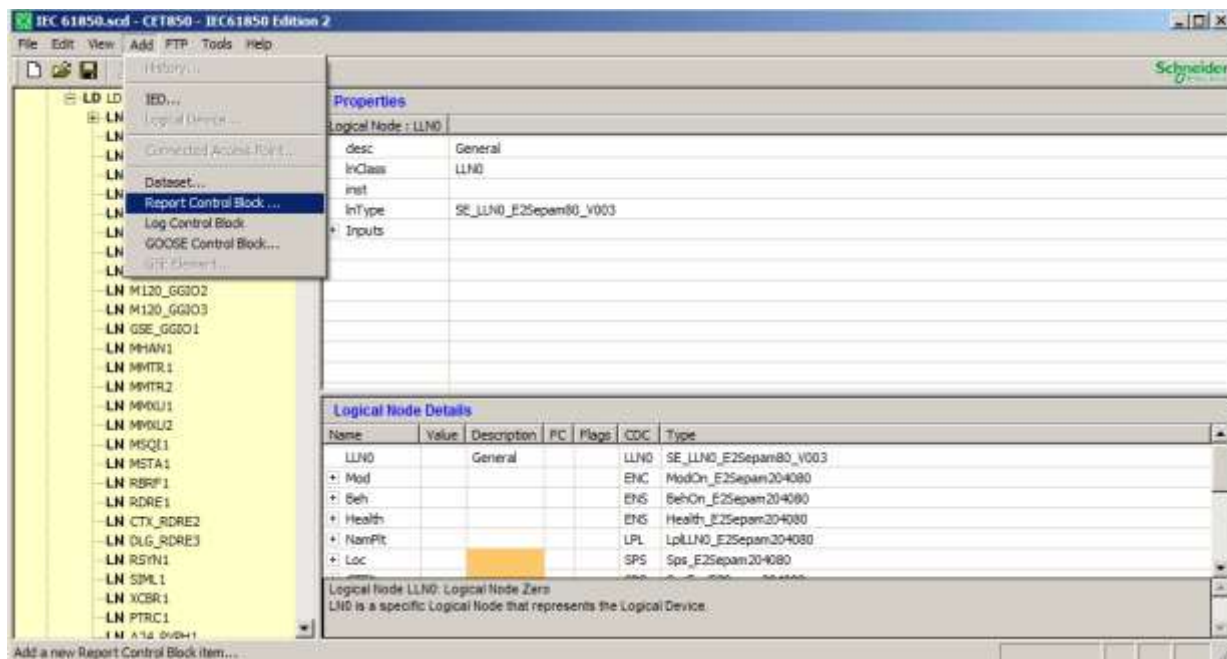


Рисунок 4.11 – Добавление блока управления

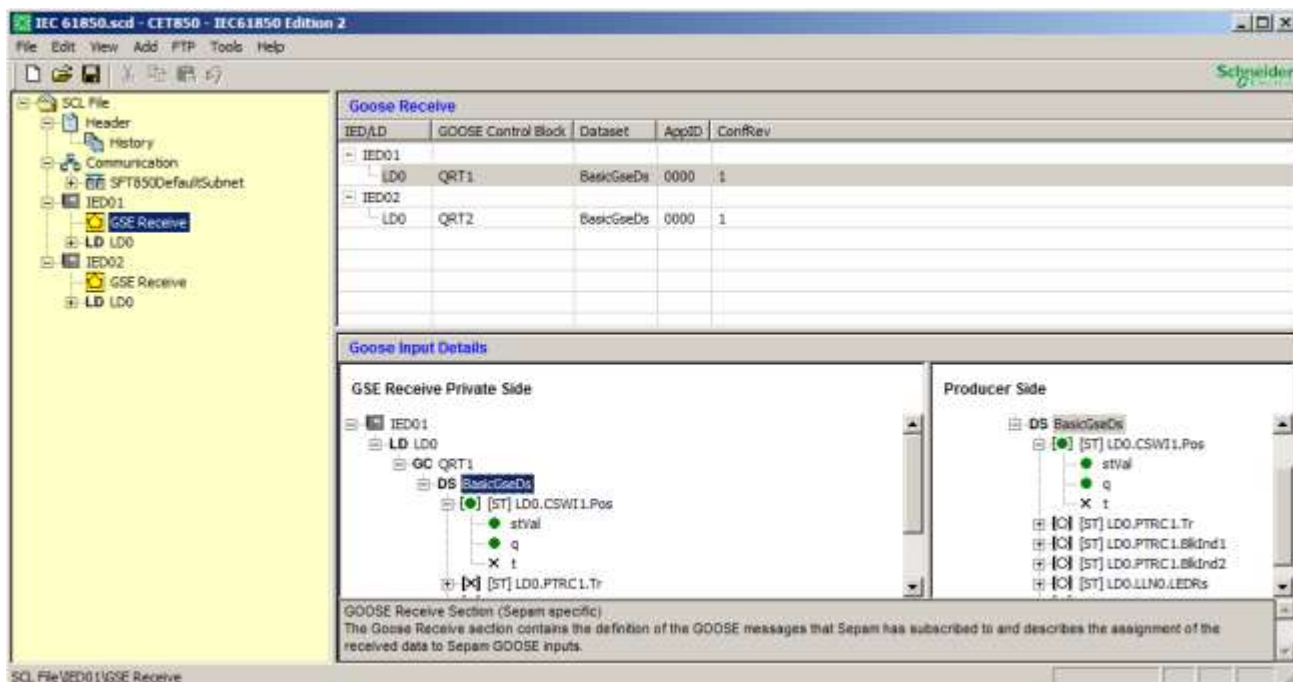


Рисунок 4.12 – Элемент GOOSE Receive.

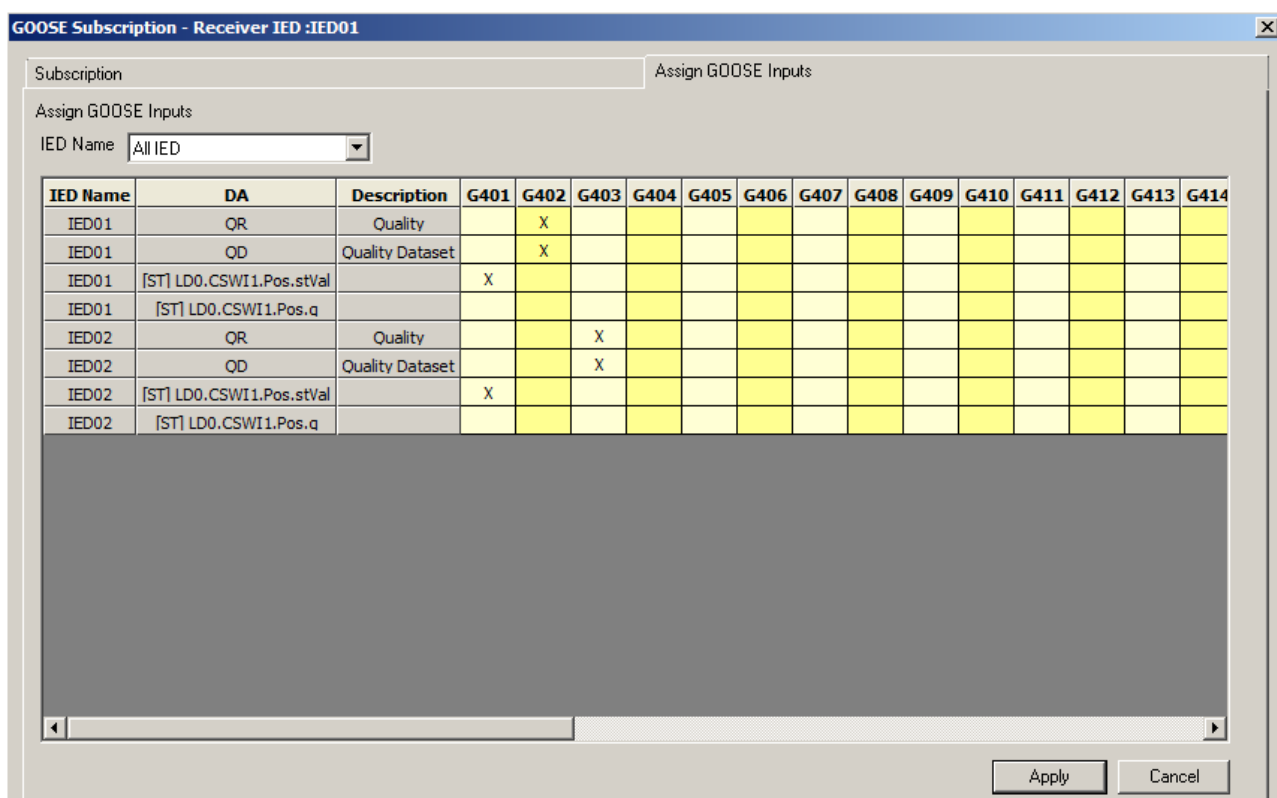


Рисунок 4.13 – Окно назначения входов GOOSE- уведомлений в Sepam

4.5 Процедура настройки обмена GOOSE- уведомлениями

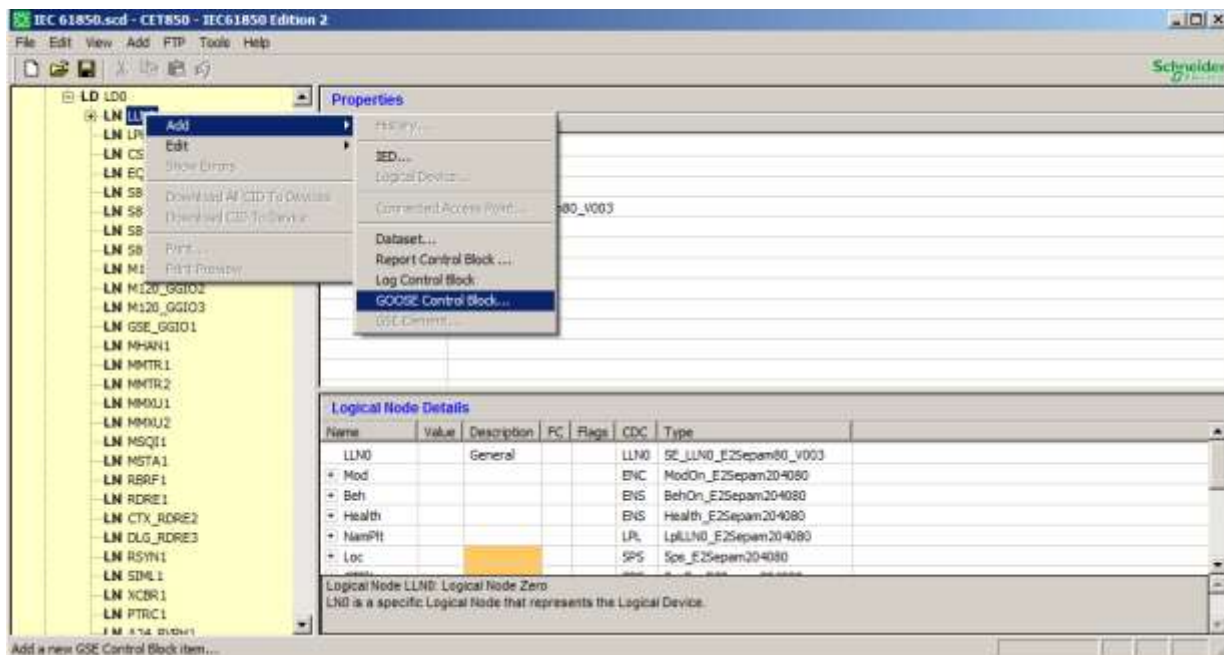


Рисунок 4.14 - Добавление управляющего блока GOOSE.

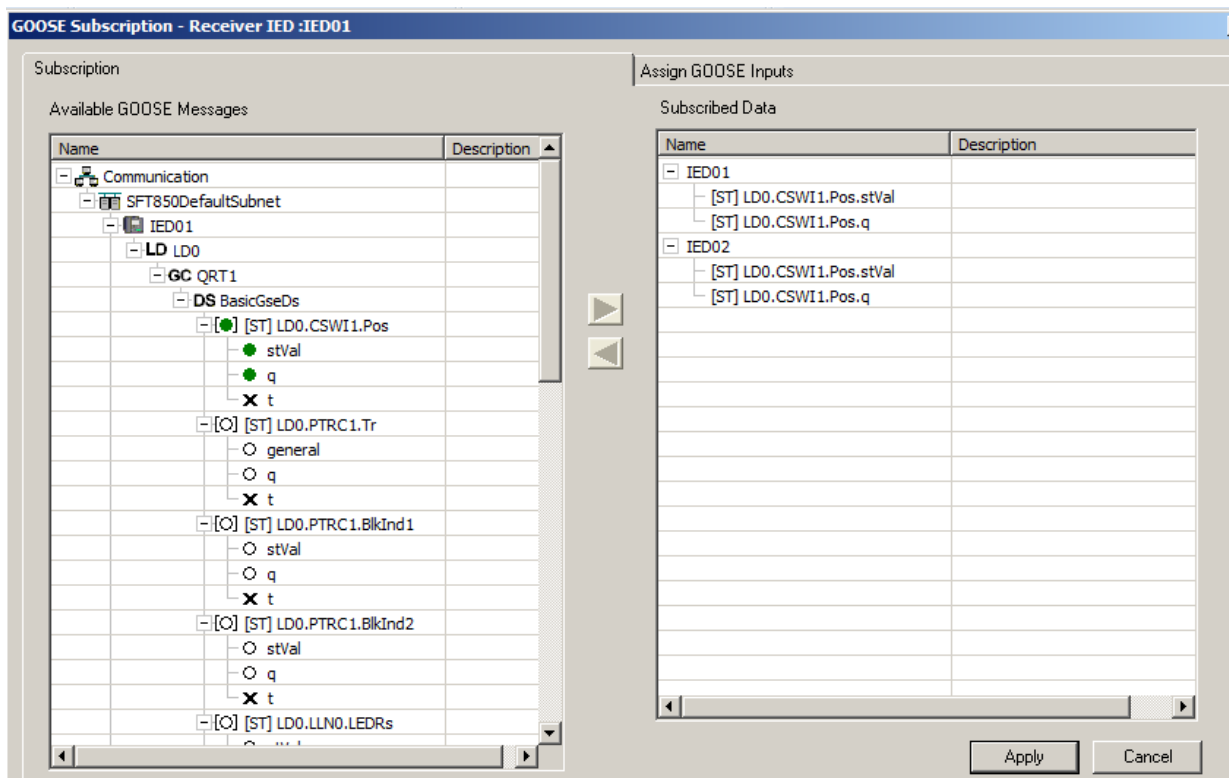


Рисунок 4.15 – Подписка на GOOSE- уведомлений

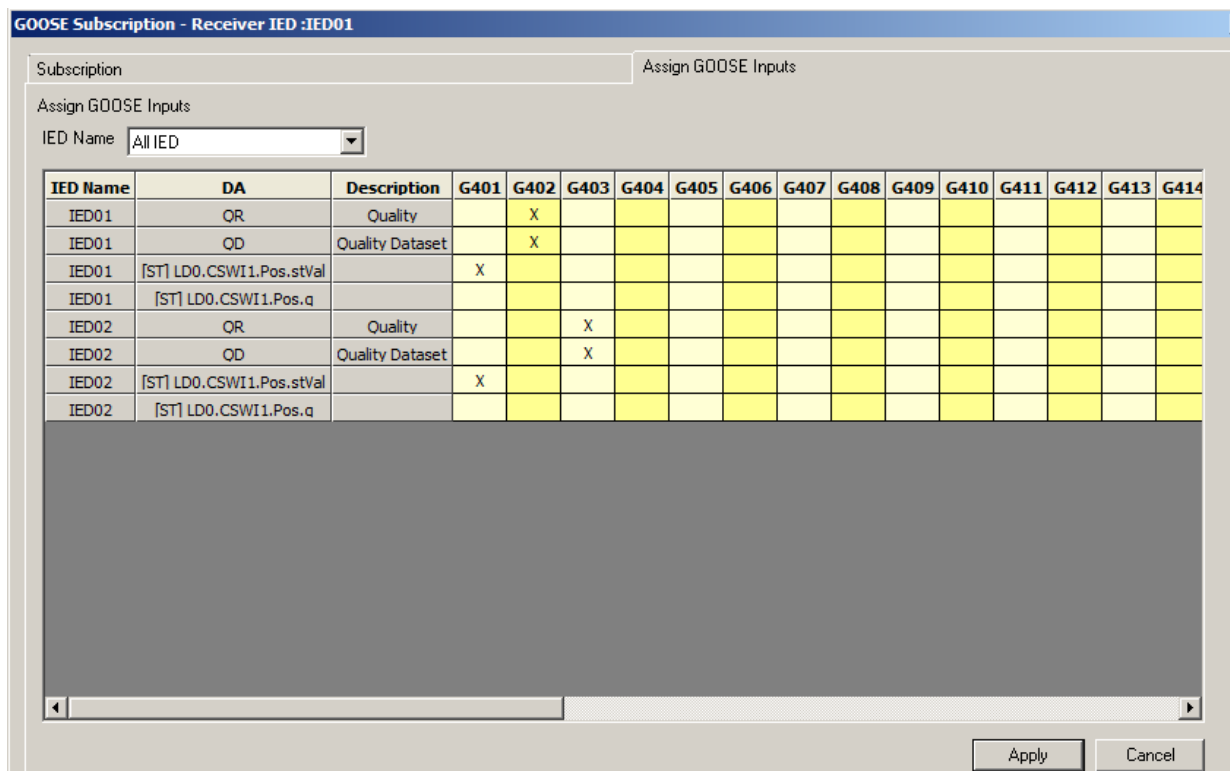


Рисунок 4.16 – Назначение входов GOOSE- уведомлений

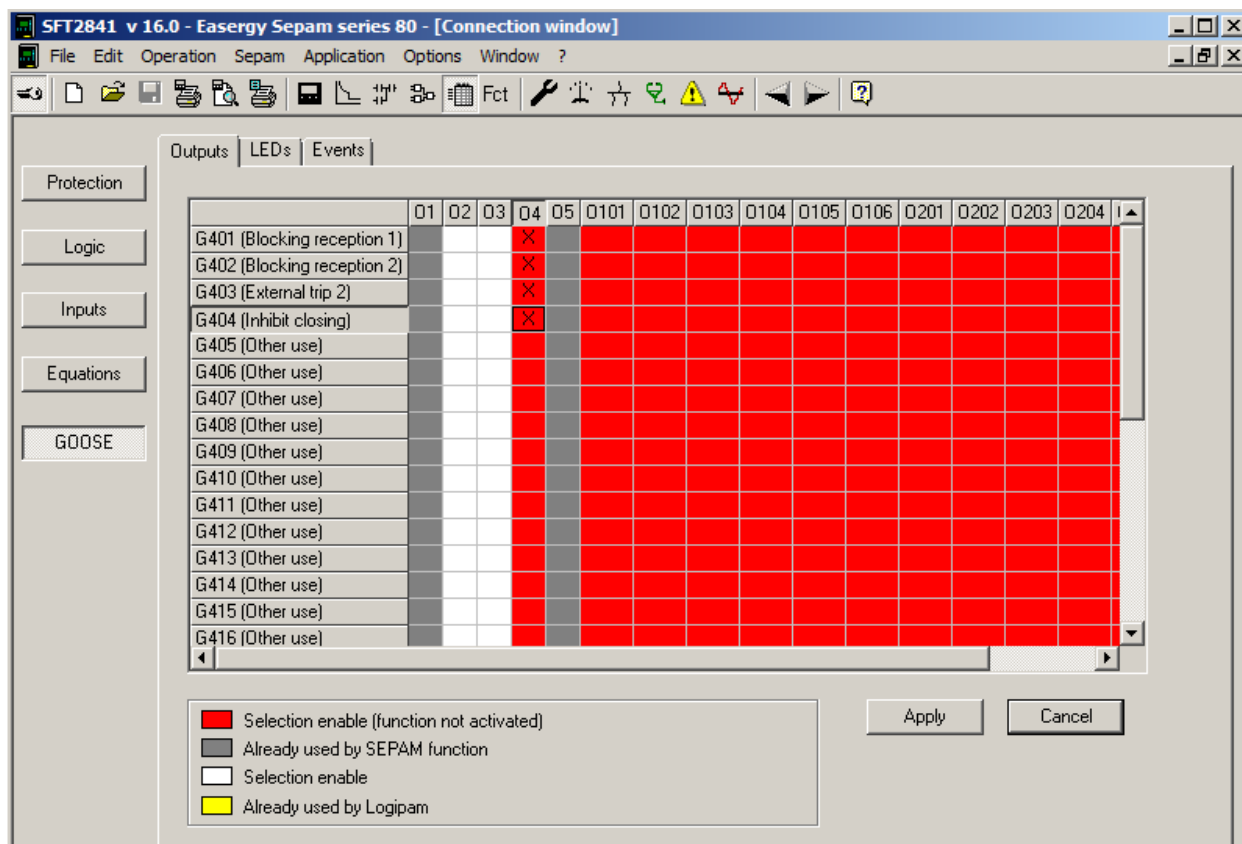


Рисунок 4.17 – Программа SFT2841: Использование входов GOOSE- уведомлений в матрице управления

4.6 Использование программы GOOSE Inspector Log

Все входы GOOSE-уведомлений РЗ Sepam можно использовать в программе GOOSE Inspector Log как входные двоичные переменные программы GOOSE Inspector Log, которые составляются на языке релейных схем (ladder language). Входы GOOSE- уведомлений с G401 по G416 и с G501 по G515 обрабатываются так же, как монтажные логические входы I1xx, I2xx и I3xx 3 модулей MES120 РЗ Sepam.

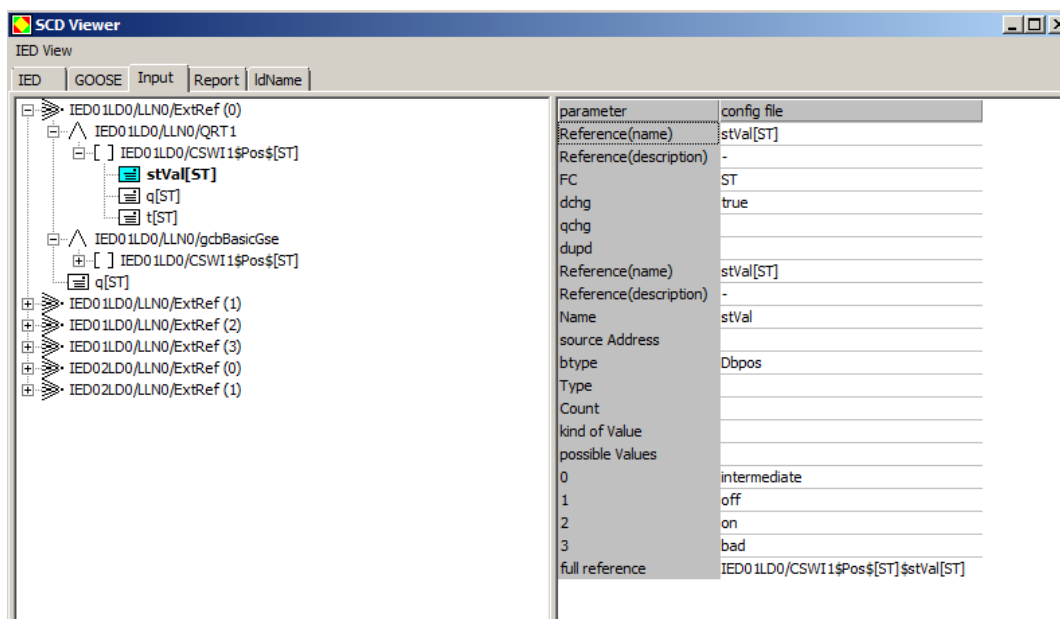


Рисунок 4.18 – Входы GOOSE- уведомлений в программе GOOSE Inspector Log

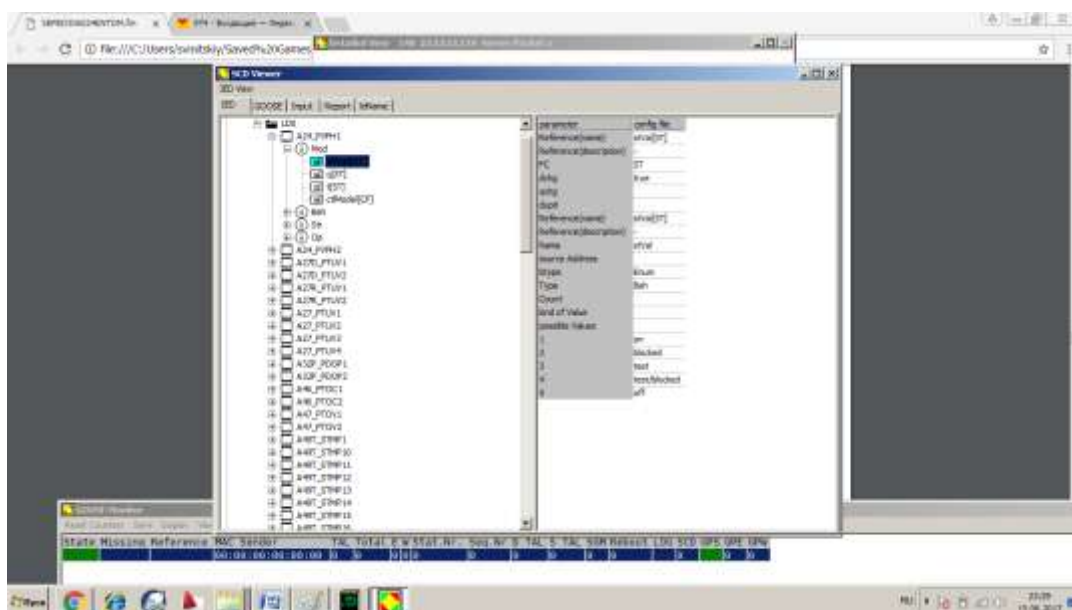


Рисунок 4.19 – Окно переменных (Дистанционная индикация)

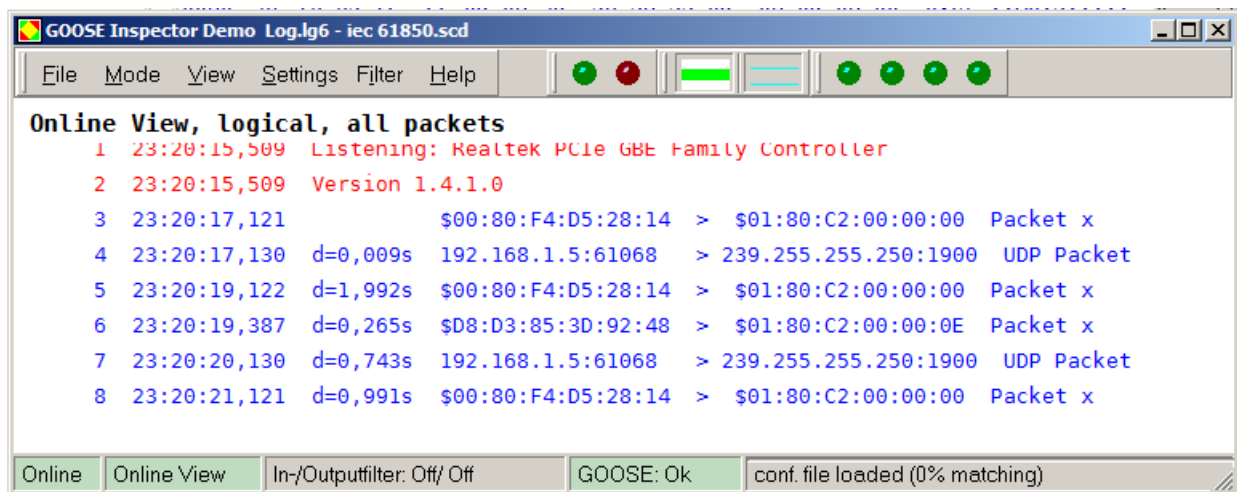


Рисунок 4.20 – Передача GOOSE- уведомлений в программе GOOSE Inspector Log



Рисунок 4.21 – Конечный результат срабатывание сигнала на бинарном выходе устройства Sepam Series 80

Заключение

Данной магистерской диссертации проведено исследование передаче сигналов по станционной шине по протоколу МЭК 61850 GOOSE уведомлений между интеллектуально – электронными устройствами РЗА производителя Schneider Electric.

В рамках данной работы было произведены такие работы, как:

- настройка модуля связи ACE850 в программе SFT2841;
- настройка конфигурации сети Ethernet;
- конфигурации протокола МЭК 61850 с помощью программы CET850;
- реализовано интегрирование IED-устройства в систему МЭК 61850.

С помощью использования программы GOOSE Inspector Log, была достигнута процедура настройки обмена GOOSE- уведомлениями между интеллектуально – электронными устройствами РЗА Schneider Electric. Проведенный анализ показывает, что существующие протоколы связи достаточно успешно позволяют реализовывать задачи диспетчерского управления и интеграции данных в системы управления. Стандарт МЭК 61850 предоставляет возможность цифрового обмена информацией между измерительными преобразователями и терминалами защиты.

Проведённая работа демонстрирует принципиальную возможность реализации передачи сигналов по протоколу МЭК 61850 GOOSE. Из исследования видно, что передаче сигналов по станционной шине по протоколу МЭК 61850 GOOSE между интеллектуально – электронными устройствами РЗА Schneider Electric (Sepam Series 80) возможна, и соблюдается всем стандартам.

Результаты данной работы дают предпосылки для дальнейших исследований передачи пакета сигналов между разными устройствами РЗА Schneider Electric по протоколу МЭК 61850 GOOSE.

Перечень сокращений

АСКУЭ	– автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии
АРМ	– автоматизированное рабочее место
МЭК	– международный электротехнический комитет
ПС	– подстанция
ЦПС	– цифровая подстанция
ЦППС	– центральной приемопередающей станцией
АСУ ТП	– автоматизированная система управления технологическим процессом
УСО	– устройство сопряжения оптическое
ИОУ	– измерительное объединяющее устройство
ИЭУ	– интеллектуально-электронные устройства
УСПД	– устройство сбора и передачи данных
MU	– merging unit (устройство сопряжение)
PB	– process buss (шина процесса)
ТТ	– трансформатор тока
ТН	– трансформатор напряжения
ТТЭО	– трансформатор тока электронный оптический
GOOSE	– generic object oriented substation event (объектно-ориентированное событие на подстанции)
MMS	– manufacturing message specification (спецификация производственных сообщений)
SV	– sampled values (мгновенные значения)
ПА	– противоаварийная автоматика
ПК	– персональный компьютер
ПО	– программное обеспечение
РЗиА	– релейная защита и автоматика
АСУ	– автоматизированные системы управления
ТМ	– телемеханика
ККЭ	– контроль качества электроэнергии
КЗ	– короткое замыкание
КРУ	– комплектное распределительное устройство
ОРУ	– открытое распределительное устройство
ОУ	– объединяющее устройство
ОМП	–определение мест повреждений
РЗ	– релейная защита
РЗА	– релейная защита и автоматика
РАС	– регистрация аварийных событий
СМ	– система мониторинга
СМНР	– система мониторинга переходных режимов
ССПТИ	– система сбора и передачи технологической информации.

Список литературы

1. А. В. Данилин, Т. Г. Горелик, О. В. Кириенко, Н. А. Дони «Цифровая подстанция. Подходы к реализации». Журнал «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» 01.07.2012
2. С.О. Алексинский, Варианты архитектурных решений системы релейной защиты и автоматики «цифровой подстанции» 110-220 кВ / С.О. Алексинский // Вестник ИГЭУ. – Вып. 1. – 2011. – С. 42-47.
3. Б.Б. Кобец, Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
4. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью [Электронный ресурс] // ОАО «ФСК ЕЭС». – Москва, 2012. – 51 с. Режим доступа: www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf (Дата обращения: 10.09.2015).
5. Н.В. Савина, Инновационное развитие электроэнергетики на основе технологий Smart Grid / Н.В. Савина. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2014. – 136 с.
6. Ю.И. Моржин, Цифровая подстанция – важный элемент интеллектуальной энергосистемы [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.ntcpower/upload/presentation/CPS-intellectual_grid_element.pdf (Дата обращения: 10.09.2015).
7. С.И. Чичёв, Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий / С.И. Чичёв, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин. – Москва: Издательский дом «Спектр», 2014. – 228 с.
8. В.Н. Вавин, Трансформаторы напряжения и их вторичные цепи / В.Н. Вавин // Москва: «Энергия», 1977. – 105 с.
9. П.Ю. Красовский, Погрешность информационно-измерительных систем и влияющие на них факторы / П.Ю. Красовский // Гірничя електромеханіка та автоматика. – 2012. – Вып. 77. – С. 119-122.
10. Mason, Russell C. The art & science of protective relaying [Электронный ресурс] / C. Russell Mason – 346 с. Режим доступа: www.gedigitalenergy.com/multilin/notes/artsci/artsci.pdf (Дата обращения: 03.06.2015).
11. ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010. Трансформаторы измерительные. Часть 8. Электронные трансформаторы тока // Москва: Стандартинформ. – 2012. – 98 с.
12. В. Гуревич, Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты. Часть 2 [Электронный ресурс] / В. Гуревич // Компоненты и технологии. – 2010. – № 3.. Режим доступа: www.kit-e.ru/articles/powerel/2010_03_91.php (Дата обращения: 03.06.2015).

13. Bajramovic, Z. Measures to reduce electromagnetic interferences on substation secondary circuit / Z. Bajramovic, I. Turkovic., A. Mujezinovic, A. Carsimamovic, A. Muharemovic // Proceedings of ELMAR. – 2012. – pp. 129- 132.

14. М. Кузнецов, Входные цепи устройств РЗА. Проблемы защиты от мощных импульсных перенапряжений [Электронный ресурс] / М. Кузнецов, Д. Кунгуров, М. Матвеев, В. Тарасов // Новости электротехники. – № 6 (42). – 2006. Режим доступа: www.news.elteh.ru/arh/2006/42/10_.php (Дата обращения: 03.06.2015).

18. Концепция цифровой подстанции РСК и этапы ее реализации // ООО «ЭМА». – Новосибирск, 2011. – 108 с.

15. К.П. Кадомская, Антирезонансные трансформаторы напряжения. Эффективность применения [Электронный ресурс] / К.П. Кадомская, О.И. Лаптев // Новости электротехники. – №6. – 2006. Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2006/42/11.php> (Дата обращения: 15.08.2014).

16. Phénomènes de Résonance et de Ferro-Résonance dans les Réseaux Electriques // ELECTRA / CIGRE. – Paris, 2014. - №272. – P. 80-85.

20. В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, В. М. Кибель «Трансформаторы тока». – 2-е изд., — Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1989 г..

19. ГОСТ Р МЭК 61850-9-2. «Сети и системы связи на подстанциях». Назначение на определенный коммуникационный сервис – Передача моментальных значений по интерфейсу МЭК 8802-3.

21. ГОСТ Р МЭК 61850-8-1. «Сети и системы связи на подстанциях». Назначение на определенный коммуникационный сервис – Назначение на MMS и МЭК 8802-3.

22. Сюй Лэй, Дун Сюэпэн, NR Electric Co.,LTD, Китай. «Опыт внедрения цифровых подстанций в Китае». Журнал «Релейная защита и автоматизация». 2012. №2 (07)

23. Горелик Т.Г. «Цифровая подстанция. Обзор мировых тенденций развития». Международная выставка и конференция по инновационным проектам в электросетевом комплексе IPNES 2010. Интеллектуальные сети.

24. «Протоколы связи в электроэнергетике. Предпосылки для создания стандарта МЭК 61850». Новости ЭлектроТехники №3 (75), 2012. Аношин А.О., Головин А.В. Максимов Б.К..

25. Баглейбтер О.И. Трансформатор тока в сетях релейной защиты. Противодействие насыщению ТТ апериодической составляющей тока КЗ // Новости ЭлектроТехники. 2008. № 5(53).

26. Шевцов М. В. Передача дискретных сигналов между УРЗА по цифровым каналам связи // Релейщик. 2009. № 1.

27. ГОСТ Р МЭК 60870-101. «Устройства и системы телемеханики». Протоколы передачи. Обобщающий стандарт по основным функциям телемеханики.

28. Аношин А. О., Головин А. В. «Протоколы связи в электроэнергетике и предпосылки для разработки МЭК-61850» // Новости ЭлектроТехники. 2012. №3 (75).

29. Brunner C., Apostolov A. IEC 61850 Brand New World. PAC World Magazine. Summer 2007.
30. <http://digitalsubstation.ru/> Релейная защита / Автоматизация / Учёт / МЭК 61850 / Электронный журнал.
31. Информационно-вычислительные сети: учебное пособие Капустин, В. Е. Дементьев. — Ульяновск: УлГТУ, 2011.
32. Аношин А.О., Головин А.В. «Стандарт МЭК 61850. Информационная модель устройства» // Новости ЭлектроТехники №5 (77).
33. Стандарт МЭК 61850.
34. «Цифровые подстанции. Проблемы внедрения устройств РЗА». Новости ЭлектроТехники №2 (74), 2012. Аношин А.О., Головин А.В. Максимов Б.К..
35. «Стандарт МЭК 61850. Протокол GOOSE». Новости ЭлектроТехники №3 (75), 2012. Аношин А.О., Головин А.В. Максимов Б.К..
36. «Стандарт МЭК 61850. Протокол передачи моментальных значений тока и напряжения». Новости ЭлектроТехники №3 (75), 2012. Аношин А.О., Головин А.В. Максимов Б.К..
37. Аношин А.О., Головин А.В., Максимов Б.К. Исследование функциональной совместимости устройств РЗА по условиям стандарта МЭК 61850 // Релейщик, 2009, № 4.
38. Шевцов М.В. Передача дискретных сигналов между УРЗА по цифровым каналам связи. Релейщик. 2009. № 1.
39. Ethernet & МЭК 61850. Общие понятия, реализация, ввод в эксплуатацию. Руководство по эксплуатации.
40. Реле защиты Seram: Обмен данными по стандарту МЭК-61850, руководство по эксплуатации, редакция 10.2009г.