

Об опыте проектирования систем РЗА и АСУ ТП на объектах ЕНЭС.

В.В. Троицкий, А. Е. Черёмушкин, А.С. Кушулинский.

ООО «ЭНТЕЛ», МФ ОАО ЮИЦЭ

Россия

troizky1979@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Проектирование РЗА, Типизация технических решений, IEC61850, оперативное управление РЗА, САПР.

ЧАСТЬ. 1. ПУТЬ ОТ ТИПИЗАЦИИ К СТАНДАРТИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ РЗА.

В последнее время авторы статьи участвовали в проектировании релейной защиты и автоматики для ряда подстанций различных филиалов ОАО «ФСК ЕЭС» (далее ФСК). По опыту авторов, интенсивное внедрение микропроцессорных терминалов в целях использования для релейной защиты и автоматики для подстанций ФСК началось примерно с 2004 года. С тех пор проектными организациями, а также персоналом релейных служб филиалов ФСК и ОАО «СО ЕЭС» (далее СО) была проделана значительная работа по типизации технических решений в области релейной защиты и автоматики с применением микропроцессорных терминалов. За это время существенно увеличилось участие представителей заказчика (Службы РЗА МЭС и СО) в выработке технических решений при проектировании ПТК РЗА, особенно на этапе согласования проектной и рабочей документации.

Также разработано достаточно большое количество нормативных материалов по выполнению вторичной коммутации на подстанциях нового поколения.

К настоящему моменту, например, уже разработана нормативная документация, описывающая структуру, функции и основные принципы построения ПТК АСУ ТП и РЗА на микропроцессорных (МП) терминалах, выполняющего автоматизированное управление коммутационной аппаратурой. К таким нормативным документам в т.ч. относятся:

- Распоряжение № 286 р ФСК «Рекомендации по применению основных структурных схем и требования к организации АСУ ТП подстанций 110 - 750 кВ с учётом функциональной достаточности и надёжности»

- Распоряжение № 236р ФСК «Порядок организации оперативной блокировки на подстанциях нового поколения»

и т.д.

В настоящее время под эгидой ФСК и СО, с участием ведущих проектных организаций, ведутся также различные работы по созданию типовых решений для РЗА на МП терминалах.

С точки зрения проектировщиков, такие работы можно облечь в форму руководящих указаний (РУ) по проектированию РЗА с приданием им статуса стандарта организации (СТО) по выполнению комплексов РЗА на микропроцессорной техники для различных присоединений.

В связи с тем, что на российском рынке представлены микропроцессорные терминалы РЗА различных фирм производителей (ABB, Siemens, Экра, GE, Ageva и т.д.) целесообразно выпустить отдельные руководящие указания по выполнению ПТК РЗА для различных фирм производителей. Например, РУ «Релейная защита автотрансформаторов с ВН 220-750 кВ с использованием МП терминалов фирмы ABB», «Релейная защита автотрансформаторов с ВН 220-750 кВ с использованием МП терминалов фирмы Siemens» и т.д. Данные руководящие указания предлагается оформлять в виде принципиальных схем, пояснительной записки и схем программируемой логики терминалов РЗА.

Для непосредственной разработки руководящих указаний целесообразно привлечь ведущие проектные организации страны. Распределять работы можно как по производителям оборудования РЗА (один проектировщик выполняет РУ по РЗА различных присоединений для одного производителя терминалов РЗА), так и по типам присоединений (например, один проектировщик выполняет РУ по РЗА АТ для нескольких производителей оборудования РЗА).

Разработанные РУ, согласуются в исполнительном аппарате ФСК, представителями филиалов ФСК (МЭС), СО и фирм изготовителей оборудования, после чего им придаётся статус стандарта организации.

Далее проектирование РЗА конкретной подстанции в обязательном порядке должно выполняться на основе таких руководящих указаний. Затем при согласовании проектной или рабочей документации представители релейных служб региональных филиалов ФСК и СО руководствуются техническими решениями, отраженными во вновь изданных РУ. Это, на наш взгляд позволит существенно сократить время, как выполнения проектирования, так и согласования рабочей и проектной документации. Также введения новых РУ должно способствовать улучшению качества проектной и рабочей документации, т.к. основные ошибки и недочёты должны быть устранены ещё на этапе проверки и согласования самих РУ.

В целом, стандартизация и типизация схем РЗА на базе микропроцессорных терминалов приведёт к сокращению сроков проектирования и согласования ПТК РЗА, упрощению эксплуатации ПТК РЗА, и как следствие, к увеличению надёжности работы подстанций нового поколения и бесперебойного снабжения потребителей электроэнергией.

ЧАСТЬ 2. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЗА

2.1 Опыт и перспективы применения стандарта IEC61850 для целей РЗА с точки зрения пользователя-релейщика.

Авторы статьи применяли участие в проектировании и наладке нескольких подстанций ЕНЭС Российской Федерации на которых был использован стандарт IEC61850 для целей обмена дискретными сигналами между терминалами РЗА.

Наиболее широко стандарт IEC61850 для целей РЗА применялся на ПС 500 кВ Воронежская МЭС Центра (введена эксплуатацию в 2006-2007 г.). На данной ПС 500 кВ по протоколу GOOSE коммуникации на интерфейсе оптического Ethernet передавались следующие сигналы:

- Пуски УРОВ и АПВ, запреты АПВ от терминалов АУВ;
- Действие УРОВ, разрешение однофазного отключения и т.д. от терминалов АУВ в терминалы защиты;
- Положение и технологическая сигнализация выключателей, разъединителей и ЗН из терминалов сбора информации на ОРУ в терминалы АУВ;
- Положение коммутационных аппаратов между смежными терминалами АУВ для ОБР;
- Команды управления разъединителями и ЗН от терминалов АУВ в выносные терминалы сбора информации на ОРУ.

Структурная схема обмена дискретными сигналами РЗА на ПС 500 кВ Воронежская для присоединений 500 кВ приведена на **рис 2.1**.



Рис 2.1: РЗА присоединений 500 кВ ПС «Воронежская» МЭС Центра.
Структурная схема обмена дискретными сигналами

Таким образом, большая часть обмена дискретными сигналами между устройствами РЗА была выполнена на протоколе GOOSE коммуникации стандарта IEC61850. Контрольным кабелем была выполнена только передача команд управления от терминалов АУВ и защит на привода выключателей.

Также контрольными кабелями была выполнена передача информации о положении КА и технологическая сигнализация КА до выносных терминалов управления и сбора информации на ОРУ.

Следующими крупным объектом с широким применением GOOSE коммуникации для целей РЗА стала ПС 500 кВ Бескудниково МЭС Центра (ввод в строй 2008-2010 г.), однако, объём сигналов передаваемый по цифровым связям на этом объекте был существенно сокращён (см. рис 2.2).

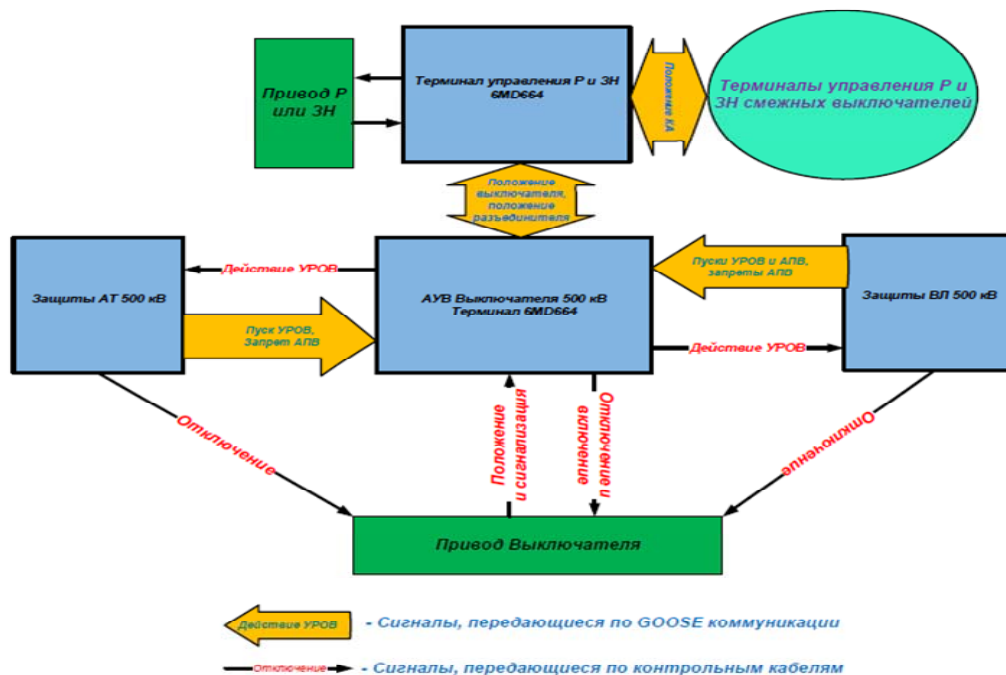


Рис 2.2: РЗА присоединений 500 кВ ПС «Бескудниково» МЭС Центра.
Структурная схема обмена дискретными сигналами

По GOOSE коммуникации на ПС Бескудниково передавались сигналы пуска УРОВ и АПВ, запреты АПВ, а также сигналы положения коммутационных аппаратов для организации ОБР. Сигналы действия УРОВ, разрешения однофазного отключения и прочие сигналы РЗА передавались контрольным кабелем.

На ПС 750 кВ Грибово, одной из последних крупных подстанций МЭС Центра, введенной в строй в 2010-2011 гг., протокол GOOSE коммуникации стандарта IEC61850 используется только для передачи сигналов запрета АПВ из терминалов защит в терминалы АУВ и сигналов положения КА между терминалами смежных ячеек для ОБР (см. рис 2.3).

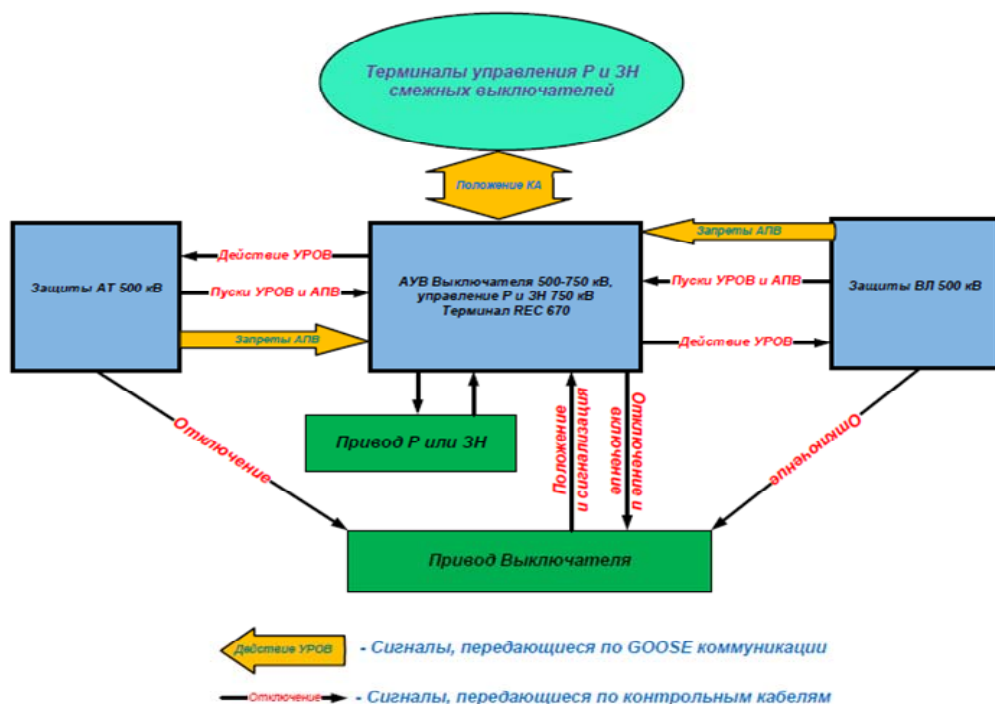


Рис 2.3: РЗА присоединений 750 кВ ПС «Грибово» МЭС Центра.
Структурная схема обмена дискретными сигналами

Очевидна тенденция по сокращению использования стандарта IEC61850 для целей передачи дискретных сигналов РЗА. Данная тенденция обусловлена тем, что наряду с безусловными достоинствами, при применении протокола GOOSE коммуникации стандарта IEC61850 для обмена сигналами РЗА выявился также ряд недостатков.

Преимущества при применении стандарта IEC61850 для обмена дискретными сигналами РЗА:

- Сокращение объема контрольного кабеля;
- Возможность использование МП терминалов РЗА с меньшим количеством входов/выходов и, следовательно, удешевлению ПТК РЗА;
- Возможность контролировать исправность коммуникаций между МП терминалами РЗА при помощи т.н. процедуры «достоверизации»;
- Исключение влияния «земли» в цепях ОПТ на обмен сигналами между МП терминалами РЗА;
- Возможность организации любых дополнительных связей между МП терминалами РЗА без перемонтажа шкафов РЗА и прокладки новых кабелей.

Недостатки, выявленные при внедрении стандарта IEC61850 для целей РЗА на ПС МЭС Центра:

- Увеличение времени передачи сигналов РЗА по сравнению с обменом сигналами через дискретные входы/выходы.
- Трудность организации оперативного вывода передачи сигналов по GOOSE коммуникации. Необходимость использования большого объема дополнительной логики.

Пример результатов тестирования скорости передачи сигналов на пуск АПВ и УРОВ от МП терминалов защит на МП терминал АУВ по GOOSE коммуникации приведен в **таблице 1**.

№ опыта	Время передачи при 1-ом КЗ, мс	Время передачи при 2-ом КЗ, мс	Примечания
1	10	44	
2	6	19	
3	20	35	
4	12	30	
5	0	23	
6	7	21	
7	18	29	

**Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем
Екатеринбург, 3 – 7 июня 2013 г.**

8	24	39	
9	32	46	
10	21	34	
Мин. Время	0	19	
Макс. Время	32	46	
Сред. время	15	32	

Таблица 1: Время передачи сигнала Relay Trip A (пуск АПВ по ф. А) при неуспешном ОАПВ

Данные недостатки (особенно возрастание времени передачи сигналов РЗА) привело к постепенному сокращению использования стандарта IEC61850 для целей РЗА и на последних объектах ЕНЭС. В настоящее время протокол GOOSE коммуникации стандарта IEC 61850 используется в основном для обмена сигналами положения коммутационной аппаратуры в логике ОБР, и иногда, для передачи сигнала «Запрет АПВ». Однако, за прошедшее время многие фирмы производители МП терминалов РЗА активно развивали свои программные и аппаратные средства в области применения стандарта IEC61850 для целей РЗА. Так, например фирма «Siemens» заявляет о гарантированном времени передачи сигналов между МП терминалами РЗА не более 20 мс, что на наш взгляд является вполне приемлемым временем для обмена сигналами между МП терминалами РЗА. В связи с этим, на наш взгляд, необходимо вернуться к вопросу широкого внедрения стандарта IEC61850 для обмена дискретными сигналами РЗА. В перспективе, использование стандарта IEC61850 для обмена сигналами между МП терминалами РЗА позволит полностью отказаться от применения контрольного кабеля для передачи дискретных сигналов во вторичных системах, особенно при применении выносных МП терминалов или блоков непосредственно в шкафах наружной установки на ОРУ.

С учётом накопленного опыта, начинать данный процесс необходимо с проведения полномасштабного тестирования скорости обмена сигналами между МП терминалами РЗА по GOOSE коммуникации на специально созданном для этого полигоне. Такое тестирование, разумеется, надо выполнять для нескольких производителей МП терминалов РЗА. При получении удовлетворительного результата по скорости обмена сигналами, следует начинать поэтапное внедрение цифровой передачи дискретных сигналов РЗА на вновь вводимых и реконструируемых объектах ЕНЭС.

На первом этапе целесообразно выполнить обмен дискретными сигналами между МП терминалами РЗА при помощи стандарта IEC61850 внутри релейного щита для одной группы проектируемых подстанций.

На втором этапе использование GOOSE коммуникации целесообразно распространить и на получение технологической сигнализации КА и положения КА, для чего шкафы наружной установки необходимо будет оснастить выносными МП терминалами для сбора информации о положении и сигнализации КА (возвращение на уровень использования IEC61850 в РЗА ПС 500 кВ Воронежская).

Наконец, на третьем этапе, при положительной оценке эксплуатации ПТК РЗА выполненных на этапе 1 и 2, можно будет отказаться от использования медных кабелей для передачи команд отключения/включения выключателей от МП терминалов РЗА на привод выключателя и также выполнять их при помощи GOOSE коммуникации.

В целом, процесс поэтапного внедрения стандарта IEC61850 для нужд РЗА приведён на **рис 2.4**.

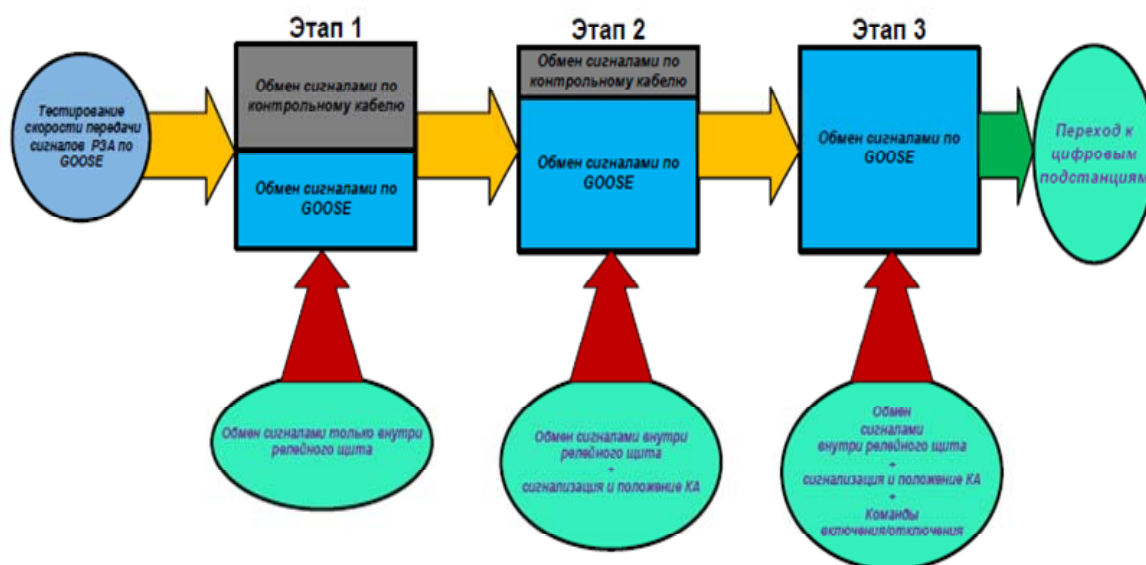


Рис 2.4: Предлагаемые этапы внедрения IEC61850 для передачи сигналов РЗА

Такое поэтапное внедрение цифровой передачи сигналов РЗА, где переход к каждому следующему этапу осуществляется после анализа опыта эксплуатации ПТК РЗА внедрённого на предыдущем этапе, принесёт положительный опыт использования стандарта IEC61850 для целей РЗА, повысит надёжность ПТК РЗА и будет являться важным шагом на пути к внедрению полностью цифровых подстанций.

2.2 Вопросы организации управления функциями РЗА от ПТК АСУ ТП

В соответствии с п.п. 1.2.1.5 распоряжения №286р ФСК в состав функций АСУ ТП входит также «Удалённое изменение состояния программных оперативных элементов систем РЗА, ПА, АСУ ТП: переключение групп уставок терминалов РЗА, оперативный ввод-вывод из работы, отключение-включение отдельных функций и др».

Однако, в настоящее время отсутствуют какие либо стандарты ФСК или СО, которые указывали бы способ выполнения управления функциями МП терминалов РЗА от АСУ ТП.

Традиционно, оперативное управления функциями РЗА выполняется при помощи накладок, а для МП терминалов РЗА с помощью ключей на шкафах РЗА. При необходимости выполнения управления функциями терминалов РЗА с верхнего уровня АСУ ТП актуальными становятся следующие задачи:

1. Обеспечить выбор безусловного приоритета управления функциями терминала РЗА по «месту» (от шкафа РЗА) или с АРМ АСУ ТП для исключения возможности выдачи противоречивых команд на переключение режимов работы терминала РЗА по «месту» или с АРМ АСУ ТП.

2. Сохранить возможность оперативного управления функциями терминала РЗА при выходе из строя АСУ ТП и избежать спонтанного изменения режима работы терминала РЗА при выходе из строя АСУ ТП.

Рассмотрим следующие варианты решения задачи по организации оперативного управления функциями терминалов РЗА от АРМ АСУ ТП.

1. Оперативное управление функциями терминалов РЗА осуществляется только с АРМ АСУ ТП, ключи оперативного управления функциями терминала РЗА на шкафу РЗА не устанавливаются.

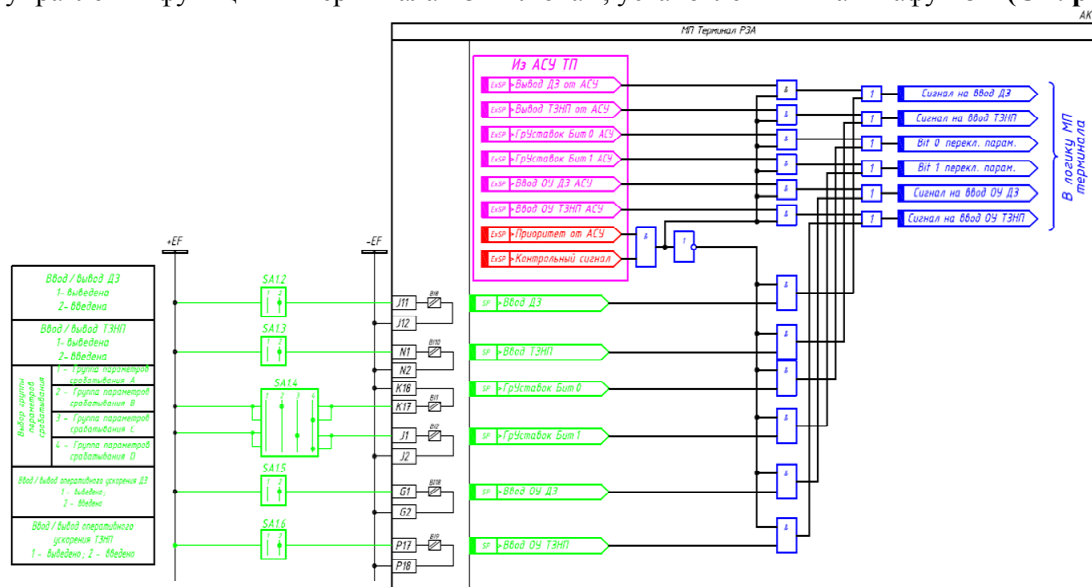
2. Оперативное управление функциями терминалов РЗА выполняется как с АРМ АСУ ТП, так и от шкафа РЗА при помощи ключей, при этом приоритет управления выбирается на АРМ АСУ ТП.

3. Оперативное управление функциями терминалов РЗА выполняется как с АРМ АСУ ТП, так и от шкафа РЗА при помощи ключей, при этом приоритет управления выбирается на шкафу РЗА.

При выполнении управления функциями терминала РЗА по варианту 1, существенным недостатком является потеря возможности оперативного управления терминалами РЗА при выходе из строя АСУ ТП, что по опыту работы автора в наладке всё ещё, несмотря на резервирование различных компонентов ПТК АСУ ТП, является не таким уж редким явлением.

Вариант 2 обладает аналогичным недостатком, в случае, если на момент выхода из строя ПТК АСУ ТП приоритет управления был выбран от АРМ АСУ ТП. Для устранения такого недостатка здесь возможно использование контрольного сигнала (бита) исправности ПТК АСУ ТП, который будет обрабатываться в терминале РЗА, и при значении соответствующему неисправности АРМ АСУ ТП или любого другого из

компонентов ПТК АСУ ТП, ответственных за передачу команд управления в терминал РЗА, передавать приоритет управления функциями терминала РЗА ключам, установленным на шкафу РЗА (См. рис 2.5).



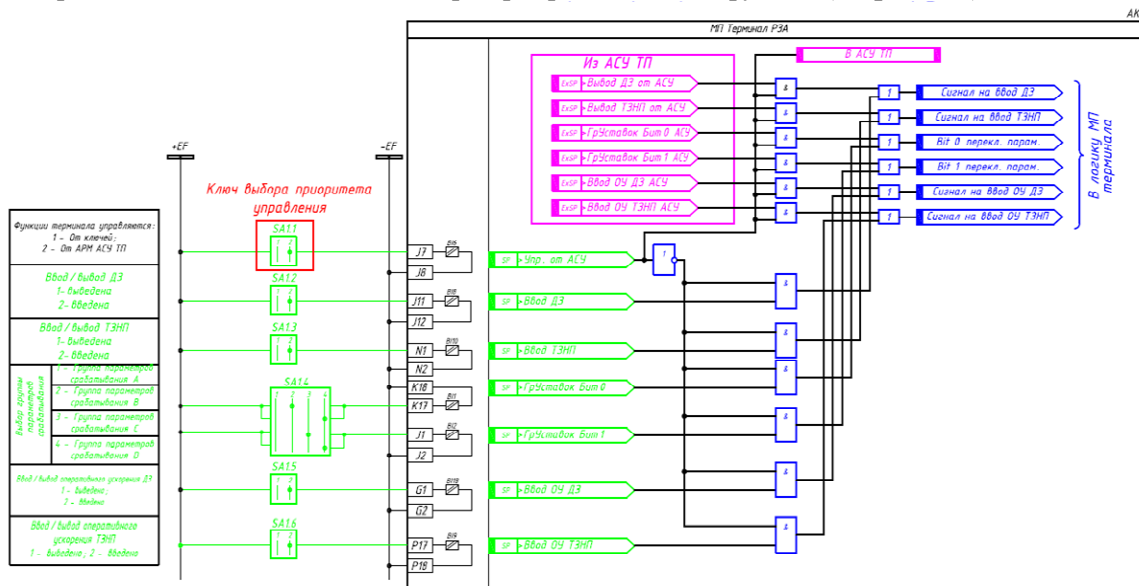
- Не требует использования дополнительных дискретных входов
- Приоритет управления выставляется для всех управляющих сигналов
- Требуется дополнительная светодиодная сигнализация режимов работы терминала
- Положение ключей на шкафу может противоречить режиму работы терминала

Рис 2.5: Оперативное управление функциями терминала РЗА
с выбором приоритета управления на АРМ АСУ ТП

Вариант 3 является с нашей точки зрения наиболее предпочтительным, т.к. он лишён указанного выше недостатка. При отказе ПТК АСУ ТП оперативный персонал на шкафу РЗА выбирает приоритет управления «по месту» и возможность оперативно управлять функциями терминала РЗА, таким образом, сохраняется.

Управление функциями терминала по варианту 3 может быть организовано двумя способами:

3.1 При помощи общего ключа выбора приоритета на шкафу РЗА (см рис. 2.6).



- Дополнительно используется только один дискретный вход
- Приоритет управления выставляется для всех управляющих сигналов
- Требуется дополнительная светодиодная сигнализация режимов работы терминала
- Положение ключей на шкафу может противоречить режиму работы терминала

Рис 2.6: Оперативное управление функциями терминала РЗА
с одним общим ключём выбора приоритета на шкафу РЗА

Данный способ требует использование одного дополнительного дискретного входа, куда заводится сигнал от ключа выбора приоритета управления функциями терминала РЗА. Также для данного варианта необходимо предусмотреть дополнительные светодиоды на лицевой панели терминала РЗА для

сигнализации режимов работы терминала РЗА, так как положение ключей в шкафу терминала РЗА может не совпадать с выбранными режимами работы функций терминала РЗА. Больше того положение ключей может прямо противоречить выбранному режиму работу различных функций терминала РЗА, что может запутать оперативный или ремонтный персонал и привести к его ошибкам при переключении в цепях РЗА.

3.2 С использованием дополнительной позиции ключей оперативного управления функциями терминалов РЗА (см. **рис 2.7**).

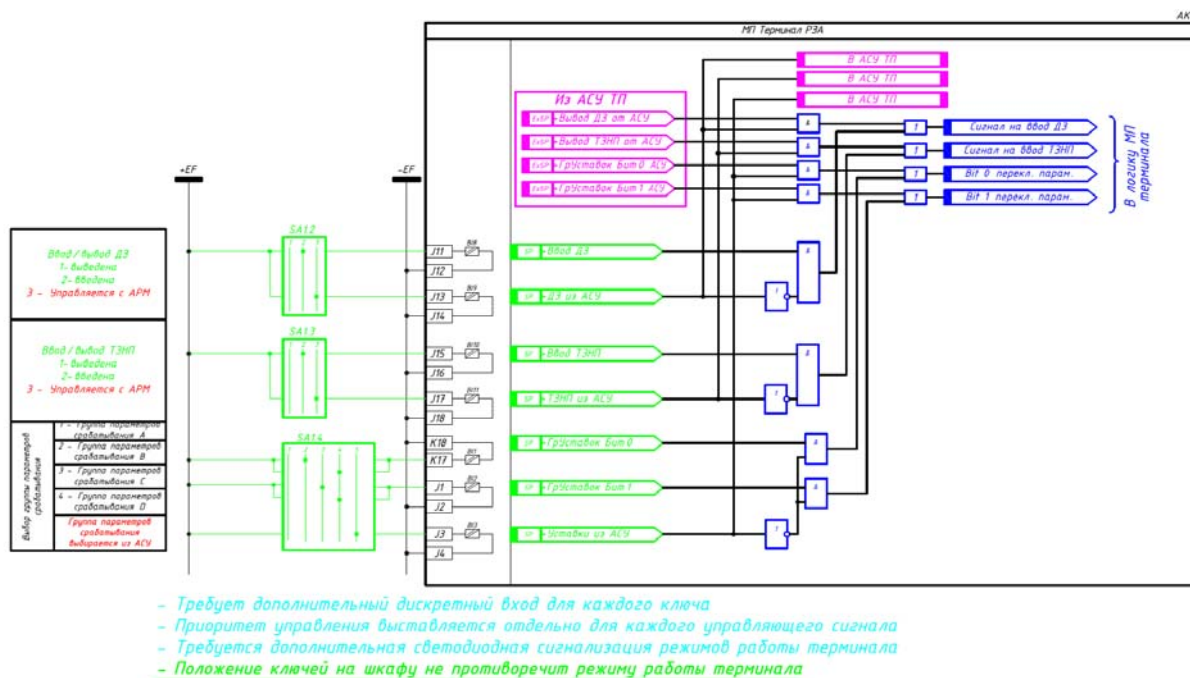


Рис 2.7: Оперативное управление функциями терминала РЗА с использованием дополнительной позиции ключей оперативного управления функциями терминала РЗА

Данный способ требует большого количества дополнительных дискретных входов (по одному на каждый ключ оперативного управления). Однако, он исключает противоречия в положении ключей оперативного управления функциями терминала РЗА и выбранными режимами работы функций терминала РЗА. Такая реализация на наш взгляд снизит вероятность ошибочных действий оперативного или ремонтного персонала при переключениях в цепях терминалов РЗА оборудованных возможностью удалённого оперативного управления функциями РЗА.

Таким образом, мы рассмотрели несколько вариантов реализации управления функциями терминалов РЗА от ПТК АСУ ТП. Каждый из рассмотренных вариантов имеет свои достоинства и недостатки, на наш взгляд наиболее приемлемым на настоящее время является использование варианта с дополнительной позицией ключей оперативного управления функциями терминалов РЗА. Безусловно, реализация управления функциями терминалов РЗА от ПТК АСУ ТП должна быть стандартизирована на уровне ФСК и СО, в соответствующем нормативном документе, и на всех подстанциях ЕНЭС должно внедряться однотипное решение вне зависимости от применяемого, в каждом конкретном случае, производителя оборудования АСУ ТП и РЗА.

2.3 Использование САПР для проектирования РЗА

В последнее время на рынке проектных работ в области РЗА наблюдается значительное увеличение конкуренции между различными проектировщиками, как следствие, это приводит к заметному снижению стоимости и сильному сокращению сроков проектных работ.

Для успешной работы в таких условиях фирма проектировщик должна выпускать большой объём проектов в единицу времени, при этом крайне важно не допустить падения качества, выпускаемой рабочей документации.

Одним из путей решения данной проблемы является применение для разработки рабочей документации систем автоматизированного проектирования (САПР). Идеальным вариантом для проектировщиков РЗА было бы внедрения такой САПР, при работе в которой специалисты проектировщики выполняли бы принципиальные/полные схемы РЗА присоединений, а всю остальную документацию (схемы подключения, монтажные схемы, задания заводу, кабельные журналы, спецификации оборудования и т.д.) система выполняла бы самостоятельно без участия человека. Кроме

этого, разумеется, САПР должна помогать избегать появления «глупых» ошибок и опечаток и ускорять процесс выпуска рабочей документации. Таким образом, можно сформулировать следующие основные задачи применения САПР при разработке рабочей документации РЗА:

- Администрирование и структурирование проекта РД
- Автоматическое заполнение штампов и автоматическая нумерация чертежей
- Помощь в выявлении опечаток и «несстыковок» в разделах РД, относящихся к смежным присоединениям
- Минимизация участия человека в выполнении вспомогательных разделов РД (заданий заводу, схем подключения, кабельных журналов, монтажных схем и т.д.)

-Автоматизация выпуска РД

Однако, внедрение САПР в проектирование РЗА сопряжено с рядом значительных трудностей.

Все представленные на рынке в настоящее время САПР предлагаются по весьма высокой цене, которая может в несколько раз (по цене за одно рабочее место) превышать стоимость даже совсем не дешёвого AUTOCAD.

Поскольку в современных САПР процесс создания РД основан на т.н. цифровой модели проекта, то выполнение схем в такой среде исключает использование «свободной графики», к работе с которой, как правило, привык персонал проектной организации. Соответственно зачастую требуется пересматривать всю идеологию разработки схем, принятую на фирме и тратить значительное время и средства на переобучение персонала.

Кроме того, предлагаемые на рынке САПР (Eplan, E3 series) нуждаются в значительной адаптации для выполнения РД РЗА, как в части создания линейки устройств для использования в схемах РЗА так и в части алгоритмов выполнения отдельных разделов РД и требуемых форматов схем.

Таким образом, организация при приобретении САПР, может понести не только значительные финансовые затраты, но и получить (по крайне мере на начальном этапе внедрения) значительное увеличение сроков проектирования.

Одним из вариантов внедрения САПР может быть разработка такой системы собственными силами проектировщиков. В этом случае возможно постепенное внедрение САПР в процесс разработки РД и плавный переход от работы со «свободной графикой» к работе с цифровой моделью проекта. Также в этом случае САПР сразу разрабатывается как адаптированная система для проектирования РЗА, безусловно и финансовое влияние в при таком внедрении значительно меньше чем при покупке и последующей доработке универсальной САПР, предлагаемой на рынке.

В проектном коллективе, руководимым авторами статьи, в настоящее время успешно разрабатывается и используется САПР, выполненная на основе программы AUTOCAD. В её нынешнем виде эта система успешно решает следующие задачи:

- Администрирования и структурирования проекта;
- Интеграции в одной среде разделов РД, выполненных в разных программных средствах (AUTOCAD, Word);
- Автоматической нумерации и заполнения штампов чертежей;
- Автоматическое построение клеммных рядов, требуемого ФСК формата;
- Автоматического выпуска рабочей документации.

Это позволило в целом сократить время выполнения РД в среднем на 15-20%, а по отдельным разделам (например, задание завода) на 50-60%. Кроме того полностью исключаются ошибки в нумерации и заполнении штампов чертежей.

Также ведутся работы по дальнейшему расширению функционала системы, в т.ч. полностью автоматическому выпуску задания завода, кабельного журнала, схем подключения, спецификаций и т.д., что позволит в целом сократить время выполнения РД в два-три раза.

Следует отметить, что при использовании заранее адаптированной для целей РЗА САПР практически удаётся избежать увеличения сроков проектирования на начальном этапе внедрения. По опыту авторов статьи адаптация специалистов проектировщиков при постепенном отказе от «свободной графики» и переходе на работу с цифровой моделью также проходит достаточно быстро и безболезненно.

Таким образом, по мнению авторов статьи, использование САПР разработанной самими проектировщиками и заранее адаптированной для нужд РЗА является хорошей альтернативой приобретению универсальной электротехнической САПР и последующей её длительной доработке.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.10.028-2009 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС);
2. ОАО «ФСК ЕЭС» Распоряжение № 286 р «Рекомендации по применению основных структурных схем и требования к организации АСУ ТП подстанций 110 - 750 кВ с учётом функциональной достаточности и надёжности»;
3. ОАО «ФСК ЕЭС» Распоряжение № 236р «Порядок организации оперативной блокировки на подстанциях нового поколения».