



Кафедра электроснабжения ЮЗГУ



Программа повышения квалификации

# Информационное взаимодействие и структура

Курск 2019

## **ОБОРУДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

---

Во второй главе рассмотрены требования к оборудованию информационного взаимодействия: цифровым трансформаторам тока и напряжения, устройствам и модулям и основному силовому электрооборудованию цифровой подстанции.

Одними из ключевых элементов в системе управления режимами работы электрических сетей являются первичные измерительные трансформаторы тока и напряжения, обеспечивающие защиту электрооборудования от сверхтоков и аварийных режимов, а также проведение измерений, учета и регистрации перетоков электроэнергии в энергосистеме [16].

Находящиеся в эксплуатации и производстве электромагнитные трансформаторы прошли в своем развитии большой путь и в настоящее время являются достаточно совершенными устройствами. Вместе с тем, и они имеют ряд недостатков (пожаро- и взрывоопасность, насыщение, вес и т.д.).

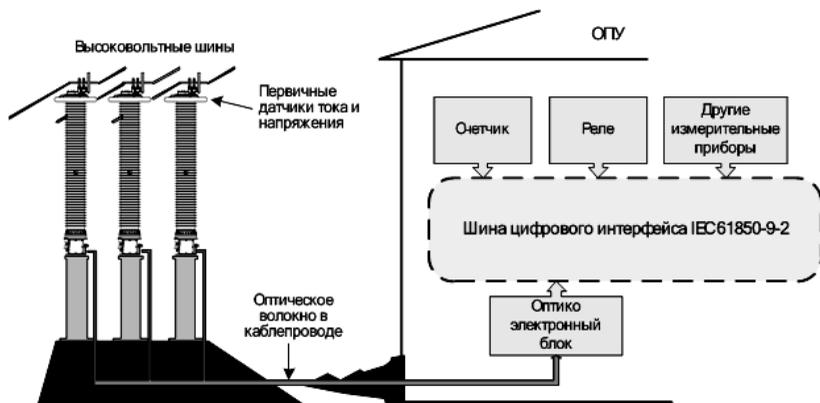
На смену им должны прийти электронные трансформаторы (датчики), которые имеют значительный потенциал в плане эксплуатации: безопасность и компактность, сокращение объемов электромонтажа и расширенный динамический диапазон, широкая полоса пропускания и самодиагностика, снижение стоимости и т.п.

### **ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ**

Цифровые измерительные трансформаторы (ЦИТ) – электронные измерительные трансформаторы с цифровыми интерфейсами, поддерживающими протокол IEC 61850-9.2, представляют собой новый класс изделий, основанных на самых последних достижениях в оптике, электронике, системах цифровой обработки и передачи сигналов. Эти устройства отличаются исключительной безопасностью, высокой точностью, быстродействием, малыми габаритами и весом [16].

2.1.1. Схема построения измерительной системы на базе ЦИТ. Одним из примеров построения измерительной системы в высоковольтной подстанции с применением комбинированных ЦИТ является решение, функциональная схема которого приведена ниже на рис. 2.1 [2].

Изоляционные колонны установлены на опорных конструкциях на территории открытого распределительного устройства подстанции (ОРУ), причем первичные датчики тока расположены на вершине колонны, а первичные датчики напряжения находятся внутри полости трубчатого изолятора колонны.



**Рис. 1. Функциональная схема измерительной системы**

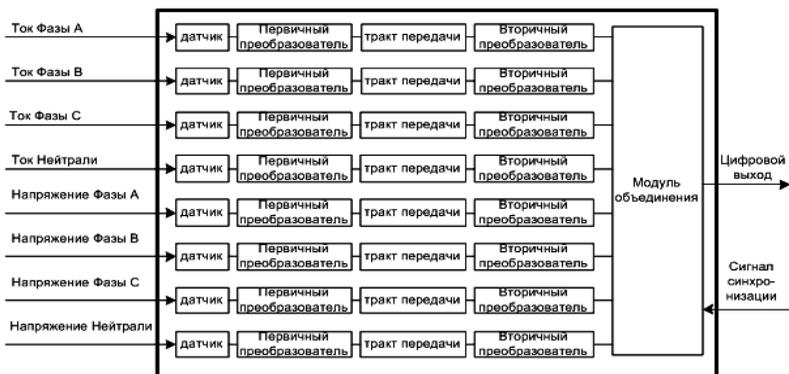
Измеренные первичными датчиками сигналы передаются по изолирующим оптоволоконным кабелям на уровень земли и далее направляются к вторичным преобразователям, объединенным в оптоэлектронном блоке преобразования, обычно располагаемом в ОПУ или в ОРУ подстанции. Взаимодействие между первичными датчиками и вторичными преобразователями оптико-электронного блока, как правило, является фирменным решением конкретного завода-изготовителя оборудования и не подлежит обязательной унификации. В оптоэлектронном блоке данные от первичных датчиков объединяются в единый цифровой поток данных в соответствии с протоколом IEC 61850-9.2 и далее распространяются через сеть Ethernet к получателям измерительной информации.

Функциональная схема ИТ с цифровым выходом (ЦИТ) приведена на рис. 2.2 [2].

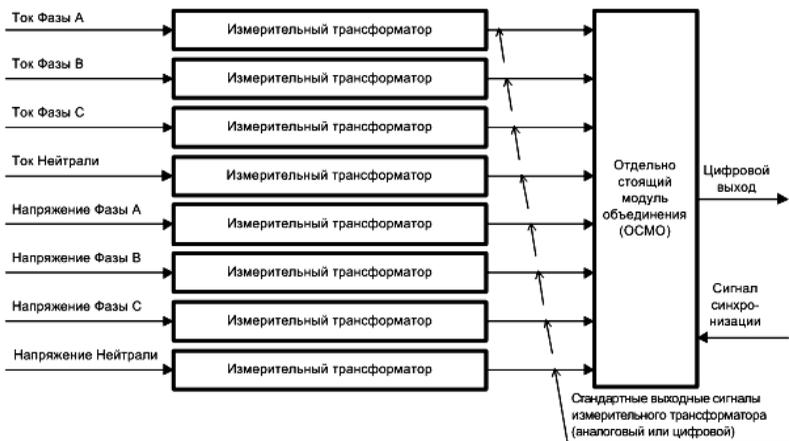
В состав ЦИТ обязательно должны быть включены все указанные на рисунке части. Число первичных входов и их тип (напряжение или ток) в отдельном ЦИТ может отличаться от приведенного примера.

Для сравнения на рис. 2.3 приведена общая функциональная схема ЦИТ с использованием отдельно стоящего модуля объединения (ОСМО или полевого преобразователя). В отличие от модуля объединения, который встроен в ЦИТ, ОСМО – устройство, не являющееся компонентом ЦИТ.

2.1.2. *Точка интерфейса ЦИТ* должна оканчиваться цифровым выходом с волоконно-оптическим или электрическим разъемом, соответствующим требованиям к модулю объединения или датчику с коммуникационным интерфейсом. Рекомендованный уровень волоконно-оптической системы передачи данных 100Base-FX (полный дуплекс, двухжильный оптоволоконный кабель с разъемами).



**Рис. 2. Общая функциональная схема измерительных трансформаторов с цифровым выходом**



**Рис. 3. Пример построения цифрового измерительного трансформатора с отдельным модулем объединения**

Используемые волоконно-оптические кабели должны соответствовать требованиям IEC 60794.

2.1.3. Синхронизация. ЦИТ или модуль объединения должны иметь возможность принимать внешний сигнал синхронизации для того, чтобы синхронизировать выборки. Сигналом синхронизации должен быть входной сигнал 1PPS в соответствии с требованиями в IEC 60044-8. Опционально синхронизация может быть осуществлена через сеть Ethernet в соответствии с IEC 61588.

Значение времени нарастания импульса 1PPS может оказать влияние на синхронизацию внутреннего тактового генератора модуля объединения. Этим параметром можно пренебречь, если максимальное отклонение времени запуска составляет не более  $\pm 2$  мкс, при времени длительности фронта не более 200 нс.

Источник синхронизации должен иметь точность  $\pm 1$  мкс. Отсчеты от модуля объединения должны иметь метки времени, выдаваемые с точностью класса 4 в соответствии с IEC 61850-5 ( $\pm 4$  мкс). По этой причине синхронизирующий вход модуля объединения может иметь джиттер  $\pm 2$  мкс. Если задержка распространения между выходным сигналом 1PPS источника синхронизации и входом модуля объединения будет более 2 мкс, то каждый такой модуль должен быть в состоянии компенсировать задержку распространения сигнала.

До тех пор, пока ЦИТ или модуль объединения синхронизируется, атрибут «SmpSynch» (задается, когда испытательный комплект СМС синхронизирован с режимом работы с использованием CMIRIG-B – блока синхронизации, обеспечивающего возможность подсоединения устройств, передающих или получающих протокол IRIG-B или PPS сигналы с помощью СМС) в сообщении SV должен иметь значение TRUE (истина). Атрибут «SmpCnt» должен вести себя, как определено в IEC 61850-7-2. Если синхросигнал потерян, ЦИТ или модуль объединения может начать работу в режиме удержания. Это означает, что в течение нескольких секунд – в зависимости от дрейфа внутреннего тактового генератора, модуль объединения способен отправлять отсчеты, все еще удовлетворяющие требованиям синхронизации в отношении точности.

2.1.4. Функционирование без синхронизации. Если модуль объединения не получает сигнала синхронизации и выйдет из режима удержания, как описано выше, атрибут «SmpSynch» в сообщении SV должен принять значение FALSE. «SmpCnt» должен продолжать считать, как если бы импульс синхронизации присутствовал на его входе.

Источники синхронизации, генерирующие сигнал 1PPS, обычно реализуются на основе приемников GPS. Импульс 1PPS имеет точность  $\pm 1$  мкс по сравнению с абсолютным временем (GPS эталон единицы времени). В случае потери сигнала приемником GPS внутренний тактовый генератор источника синхронизации начнет дрейфовать от эталонного времени GPS.

Есть две возможности для обработки этой ситуации: вычисления, выполняемые в модуле объединения, а в случае, если ток и (или) напряжение в нейтрали не измеряются реальным датчиком, модуль объ-

единения должен рассчитать эти величины как сумму фазных значений. Однако, поскольку получатель должен знать, рассчитываются значения или измеряются, модуль объединения должен показать это в соответствующем описателе качества.

При автоматическом обнаружении неисправности ЦИТ должен быть поднят флаг о недостоверности данных на цифровом выходе. Отказ системы передачи должен быть автоматически обнаружен с формированием соответствующего сигнала о неисправности. При перерыве в электроснабжении источника питания или выходе входного напряжения за пределы допустимого диапазона должен быть остановлен вывод данных и отключен цифровой выход. После восстановления работы источника питания функционирование ЦИТ должно быть автоматически восстановлено.

2.1.5. Требования к временным характеристикам. В соответствии с ИЕС 60044-8 максимально допустимое время задержки на обработку сигналов в МО составляет 3 мс (+10 %, -100 %). Задержка на обработку сигналов определяется как временной интервал, заключенный между моментом измерения на первичной стороне ЦИТ до момента, когда кадр, содержащий в себе это измеренное значение, публикуется на коммуникационном интерфейсе ЦИТ. Измерение задержки, связанной с обработкой сигналов, производится при синхронизации ЦИТ от внешнего эталонного источника времени с помощью прецизионной временной маркировки/фиксации отдельных кадров, отправляющихся с коммуникационного интерфейса ЦИТ.

2.1.6. Требования к эксплуатационной, функциональной надежности и взрывопожарной безопасности. Производитель должен предоставить информацию в соответствии с такими стандартами, как ИЕС 60812 и ИЕС 61025, по функциональной и эксплуатационной надежности электронных трансформаторов, включающую оценку средней наработки до отказа (МТТФ), среднее время между отказами (МТВФ) и анализ характера и последствий отказов (FMEA), связанный с основной частью при условии обслуживания. Должна быть предоставлена функциональная схема, описывающая взаимосвязь между подсистемами и демонстрирующая, как осуществляется резервирование, если оно организовано. Должны быть определены узлы ЦИТ, для которых проводятся соответствующие процедуры технического обслуживания.

Применяемые в конструкции трансформаторов материалы должны обеспечивать выполнение требований по взрыво- и пожаробезопасности.

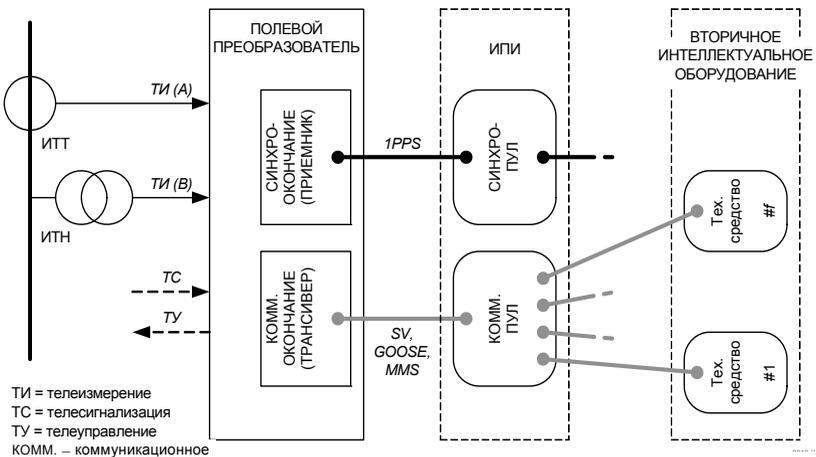
## ПОЛЕВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (УСТРОЙСТВА И МОДУЛИ)

2.2.1. Полевые преобразователи – устройства (модули), обеспечивающие информационные связи на базе протоколов МЭК61850-8.1 и МЭК 61850-9.2 с измерительными трансформаторами тока и напряжения.

В настоящем подразделе определим требования к полевым преобразователям (ПП) – устройствам и (или) модулям, обеспечивающим включение традиционных (неэлектронных) измерительных трансформаторов тока (ИТТ) и напряжения (ИТН) в инфраструктуру передачи информации (ИПИ) ЦПС.

*Примечание.* В связи с тем, что термины «merging unit» (MU) и «stand alone merging unit» (SAMU) на сегодняшний день не имеют однозначного, общепринятого русскоязычного эквивалента (перевода), в настоящем подразделе применен термин «полевой преобразователь» как более лаконичный и функционально близкий по смыслу и содержанию. Назначение полевого преобразователя пояснено ниже на рис. 2.4 [2].

2.2.2. Функциональные задачи. Функции ПП условно разделяются на основные и вспомогательные. Основные функции ПП связаны непосредственно с преобразованием, выполняемым ПП, и присутствуют в нем обязательно; вспомогательные функции есть некоторая надстройка над основными, их наличие опционально.



**Рис. 4. Полевой преобразователь, его взаимосвязи с инфраструктурой передачи информации, а также первичным и вторичным оборудованием ЦПС**

Основные (преобразовательные) функции следующие:

- аналого-цифровое преобразование – следящая функция, представляющая собой когерентное многоканальное преобразование сигналов, производимое синхронно с отсчетами единого времени энергообъекта, с последующей передачей оцифрованных значений (кодов) по цифровому каналу связи;

- цифроаналоговое преобразование – функция, обратная аналого-цифровому преобразованию.

Вспомогательные (дополнительные) функции:

- монитор целостности вторичных цепей – диагностическая функция, представляющая собой непрерывное отслеживание «качества» вторичных присоединений (под «качеством» здесь можно понимать отсутствие обрывов и пр.);

- метрологический фильтр – коррекционная функция, представляющая собой предварительную математическую обработку измерительной информации;

- локальное устройство АСУ ТП – функция, представляющая собой, прежде всего, выполнение синхронных векторных измерений;

- локальная точка АСТУЭ, АСКУЭ, АСККЭ – контрольно-фискальная функция, представляющая собой вычисление счетно-учетных, аналитических и контрольных показателей с передачей результатов в указанные системы.

Целевые свойства преобразований таковы: синхронность, когерентность, точность, низкие латентность и инерционность.

Конструктивная реализация преобразователя предполагает вариативность, призванную удовлетворить конкретные условия эксплуатации, и допускает исполнение как в виде модуля (конструктивно зависимого), устанавливаемого в интеллектуализируемое техническое средство, так и в виде самостоятельного (конструктивно независимого) прибора, устанавливаемого отдельно.

Эксплуатационная надежность преобразований обеспечивается резервированием, реализуемым за счет дублирования основного комплекта полевых преобразователей одним или несколькими резервными.

2.2.3. Информационное окончание. Изделие должно иметь коммуникационное окончание и синхронизационное окончание; при синхронизации коммуникационным (протокольным) способом синхронизационное окончание может отсутствовать.

В коммуникационном окончании количество портов (не учитывая резервные порты, если есть) должно быть таким, чтобы расчетная нагрузка каждого порта в любом направлении обмена (приема и передачи) не превышала 2/3 от номинальной пропускной способности соединения.

Рекомендуется также, чтобы загрузка портов в части периодического (передаваемого и принимаемого) трафика была как можно более равномерной.

Изделие должно уметь варьировать статическую (константную) задержку отправки пакета данных IEC 61850-9.2 (SV) в пределах от нуля до (в пределе) периода посылки пакетов, для каждого генерируемого потока.

Изделие должно уметь фильтровать принимаемые пакеты IEC 61850-9.2 (SV) для каждого принимаемого потока. Изделие должно уметь распознавать (без пропусков) пакеты, с количеством последовательных когерентных выборок от 1 до 16, по правилам IEC 61850-9.2 (SV), с частотой от 1 до 256 выборок на номинальный период основной частоты (50 Гц), настраиваемых (количеством и частотой) раздельно для каждого принимаемого потока.

Рекомендуется, чтобы изделие умело распознавать пакеты с частотой до 1024 выборок на номинальный период основной частоты. Допускается устанавливать дополнительные требования к коммуникационному окончанию изделия, отвечающие потребностям и условиям предполагаемой эксплуатации.

2.2.4. Резервирование (дублирование). Рекомендуется резервировать изделие целиком. При этом целесообразно организовать полное резервирование, т.е. дублирование ПП (а в отдельных случаях – дублирование с арбитром), так как ПП по сути является единственным источником данной измерительной информации на ПС.

Кроме того, даже при резервировании изделия целиком рекомендуется резервировать порты в коммуникационных окончаниях – с целью обеспечения повышенной живучести ЛВС. При выходе одного из портов из строя должно осуществляться перераспределение трафика на другие порты коммуникационного окончания – без полного или частичного исключения или снижения интенсивности трафика и какой-либо потери функциональности ПП.

Резервные комплекты изделий должны подключаться к инфраструктуре передачи информации через разные комплекты технологической структурированной кабельной системы (СКС). Например, основной – через технологическую (ТСКС) структурированную кабельную систему; первый резерв – через резервную ТСКС; последующие резервы – через любую ТСКС в порядке чередования.

## **ОСНОВНОЕ СИЛОВОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ**

Внедрение SMART-технологий применительно к основному силовому электрооборудованию (высоковольтные коммутационные аппараты, трансформаторное и реакторное оборудование, системы оперативного постоянного и переменного тока и др.) подразумевает под

собой в первую очередь увеличение интеллектуальной составляющей средств контроля и управления электрооборудованием [16 – 18]. Это, в свою очередь, достигается следующим образом:

- повсеместным переходом на цифровые (в том числе – оптические) технологии съема информации и передачи команд исполнительным элементам;
- расширенным контролем и диагностикой силового электрооборудования под рабочим напряжением (в том числе, контролем его метрологических характеристик);
- развитием контроля и диагностики средств вторичной коммутации, приборов, сетевого оборудования.

Применительно к подстанциям ЕНЭС это дает следующие преимущества:

- сокращение затрат на эксплуатацию оборудования (малообслуживаемое оборудование с минимальной и контролируемой деградацией характеристик);
- увеличение срока службы электрооборудования при одновременном сокращении затрат на периодические проверки и ремонты;
- уменьшение затрат, связанных с внезапными отказами оборудования и связанным с этим недоотпуском электроэнергии (непрерывный мониторинг оборудования и каналов связи, резервирование источников сигнала, терминалов, цифровых сетей и т.д.);
- увеличение точности измерений (повышение точности учета электроэнергии (особенно при токах менее 10...20 %  $I_n$ ); повышение точности определения места повреждения ОМП, новые возможности для РЗА кабельно-воздушных линий);
- сокращение продолжительности проектных и пусконаладочных работ в связи с типизацией оборудования, повышением уровня заводской готовности и уменьшением объема кабельной продукции;
- улучшение условий в части безопасного производства работ и электромагнитной совместимости (за счет оптических каналов связи нет выноса потенциала с ОРУ);
- уменьшение стоимости средств контроля, управления и защиты (унификация терминалов, сокращение количества контрольных кабелей).

В процессе становления и развития SMART-технологий перехода к цифровым подстанциям ЕНЭС можно условно выделить два последовательных периода (стадии) преобразований [2]:

1-й период (переходный, ориентировочно 2011 – 2014 гг.) – в основном, использование существующего электрооборудования, к которому добавляется интерфейсная часть (цифровая, оптическая), уста-

навливаемая, как правило, в помещениях. Возможно также постепенное изменение состава и типа применяемых датчиков.

2-й период (в значительной мере – перспектива; переход к целевым свойствам ЦПС: 2015 – 2030 гг.) – освоение новых типов электрооборудования, характеризующихся интеграцией в оборудование специализированных цифровых необслуживаемых датчиков и полевых контроллеров. Как следствие – возможность реализации в полной мере всех преимуществ цифрового подхода, когда любое оборудование представляется как объект в модели ИЕС 61850.

Далее в настоящей главе рассматриваются основные требования к отдельным видам первичного электрооборудования ПС, в том числе к:

- трансформаторному маслonaполненному оборудованию;
- коммутационным аппаратам;
- оборудованию щитов постоянного тока;
- оборудованию щитов собственных нужд ПС

на каждом из выделенных периодов становления и развития технологий построения ЦПС.

#### 2.3.1. Трансформаторное маслonaполненное оборудование:

- собственно трансформатор (магнитопровод, обмотки, масло);
- система охлаждения (охладители с электровентиляторами, электронасосы, шкаф автоматики охлаждения);
- бак-расширитель;
- высоковольтные вводы;
- РПН с приводом;
- маслоосушитель (силикагель).

##### *Требования 1-го периода:*

- объем измерений датчиковой части: температура верхних слоев масла, датчики влажности и газосодержания масла, токи утечки вводов, положение РПН, уровень масла в баке-расширителе, датчик влажности силикагеля в осушителе, струйные и газовые реле, положение отсечного клапана, контроль уровня;

– расчетно-диагностические задачи: сравнение контролируемых параметров с уставками, расчет температуры наиболее нагретой точки, расчет перегрузочной способности трансформатора;

– модуль связи, как правило, устанавливается непосредственно около трансформатора и выполняет следующие функции: сбор информации от установленных датчиков и первичная обработка информации (масштабирование и сравнение с уставками, присвоение меток времени).

Основная обработка информации, ее архивирование, представление осуществляются в контроллере (сервере), установленном на подстанции. Наиболее современным является вариант модуля связи с протоколом ИЕС 61850-8.1.

На этом этапе алгоритм и средства управления системой охлаждения и РПН остаются неизменными. Средства автоматической обработки больших массивов контрольно-диагностической информации, как и центры ее хранения отсутствуют. Соответственно эффективность системы минимальна, хотя затраты на реализацию могут составлять до 5...10 % от стоимости трансформатора.

#### *Требования 2-го периода.*

1. Объем измерений и первичных измерительных приборов (датчиковой части).

Использование распределенных резервированных волоконно-оптических систем для контроля температуры непосредственно обмотки трансформатора (встраиваются в обмотку при изготовлении трансформатора или при капремонте) позволяет непосредственно измерить температуру наиболее нагретой точки и, соответственно, повлиять на алгоритм работы системы охлаждения и повысить точность расчета ресурса изоляции.

Оптоволоконный датчик напряжения, встроенный в высоковольтные вводы, позволяет:

- повысить надежность системы охлаждения (пуск маслонасосов осуществляется по факту подачи напряжения на трансформатор);
- расширить функциональность системы мониторинга (контроль импульсных грозовых импульсов перенапряжения);
- повысить надежность работы системы пожаротушения (пуск системы должен блокироваться при наличии напряжения);
- обеспечить необходимой информацией (напряжение на стороне НН) автоматический регулятор РПН.

Для повышения надежности работы трансформатора указанный датчик целесообразно резервировать, так как выход из строя датчика потребует снятия высоковольтного ввода трансформатора и, как следствие, его длительный ремонт.

Перевод остальных датчиков (газовое и струйное реле, отсечной клапан) на оптический принцип функционирования обеспечит цифровую обработку сигнала от указанных датчиков.

2. Расчетно-диагностические задачи (дополнительные):

- расчет расхода электроэнергии на охлаждение трансформатора;
- расширенные алгоритмы диагностики;
- мониторинг обмена по цифровым сетям.

3. Система охлаждения:

– в качестве коммутационных аппаратов в цепях электронасосов и электроventиляторов необходимо использовать устройства плавного пуска с управлением по оптическому каналу;

- использование адаптивных алгоритмов управления электровентиляторами и электронасосами (упреждающее управление с учетом реального графика нагрузки, форсированные режимы охлаждения в аварийных режимах).

#### 4. Устройство регулирования напряжения под нагрузкой (РПН):

- в качестве переключающего устройства используется так называемый «симистор» (иногда называемый «триак») с оптическим управлением и шунтирующим контактором;

- датчик положения – оптический, цифровой, пассивного типа;

- осуществляется расчет коммутационного и механического ресурса (по каждой анцапфе РПН); выдается напоминание оперативному персоналу о необходимости переключения анцапфы;

- организуется оптимизация положения РПН на основе анализа архивной информации;

- производится упреждающее переключение РПН (для повышения качества напряжения у потребителя).

#### 5. Отсечной клапан (перекрытие маслопровода между баком-расширителем и основным баком трансформатора):

- контроль положения (открыт/закрыт) – используется оптический датчик пассивного типа, встроенный в клапан;

- управление соленоидом клапана – осуществляется через триак (IGBT-транзистор) с оптическим управлением.

#### 6. Модуль связи в общем случае включает в себя следующие функциональные submodule:

- управления РПН,

- управления системой охлаждения,

- управления отсечным клапаном,

- мониторинга и диагностики,

- электропитания;

- интерфейс – дублированный оптический, подключаемый к шинам 61850-8.1 и 61850-9.2.

Для повышения надежности целесообразно организовать двойное питание системы охлаждения, а также датчиков и модулей связи – от внешнего источника электропитания (основное) и от встроенной дополнительной обмотки трансформатора (резервное).

#### 2.3.2. Коммутационные аппараты (выключатели):

- выключатель;

- привод выключателя (электромагниты включения и отключения, механизм и автоматика завода пружин, датчик положения);

- встроенные трансформаторы тока.

### *Требования 1-го периода.*

1. Объем измерений и датчиковой части:

- датчики положения (контактные, дискретные);
- датчики технологические (давление и плотность элегаза, состояние пружин).

2. Расчетно-диагностические задачи: приближенный (нет точной информации о положении главных контактов) расчет коммутационного ресурса.

3. Модуль представляет собой средство цифровой интеграции всех устройств, устанавливаемых рядом с выключателем (устройство отключения в бестоковую паузу, устройство оперативной и долговременной диагностики, устройство ввода сигналов от технологических датчиков выключателя).

Следует отметить, что модуль полевого исполнения может просто отсутствовать (все функции реализуются в контроллере управления).

### *Требования 2-го периода.*

1. Объем измерений и датчиковой части: вместо датчиков крайних положений (блок-контактов) используются оптические датчики угла поворота/перемещения (для точного контроля мгновенного положения главных контактов) пассивного типа с цифровым выходом.

2. Привод выключателя:

- подача напряжения на электромагниты включения и отключения осуществляется посредством триаков (IGBT-транзисторов) с оптическим управлением;
- в схеме управления заводом пружин также используются твердотельные силовые ключи.

3. Расчетно-диагностические задачи:

- уточненный расчет ресурса (количество коммутаций, относительный износ главных контактов, относительный износ двигателей завода пружин);
- контроль деградации характеристик привода выключателя (время включения и отключения, время горения дуги);
- контроль исправности встроенных цифровых ТТ за счет сравнения мгновенных значений токов различных ТТ одного присоединения в каждый данный момент времени.

4. Встроенные цифровые ТТ – оптические цифровые с протоколом 61850-9.2. Информация от них используется выключателем (схема управления, система диагностики), а также поступает во внешнюю цифровую сеть.

5. Модуль связи – контроллер управления – в общем случае включает следующие функциональные submodule:

- включения выключателя;
- отключения выключателя в бестоковую паузу (пофазно);
- управления приводом завода пружин;
- мониторинга и диагностики (включая функцию контроля элегаза, состояния пружин, готовность к включению и отключению);
- электропитания.

Количество модулей связи должно быть равно количеству соленоидов включения (отключения).

Интерфейс – дублированный оптический, подключаемый к шинам 61850-8.1 и 61850-9.2.

Преимуществами 2-го этапа являются существенное сокращение количества необходимых устройств управления и контроля (вместо терминала управления, терминала бестокового отключения, терминала диагностики – один модуль связи) и, соответственно – увеличение надежности за счет сокращения кабельных связей.

2.3.3. Коммутационные аппараты (разъединители и заземляющие ножи).

1. Конструкция разъединителей и заземляющих ножей практически остается неизменной, поскольку определяется допустимыми изоляционными промежутками.

2. Новым является:

- использование в приводе разъединителей и заземляющих ножей оптически управляемых симисторов;
- использование в качестве датчиков положения оптических датчиков пассивного типа;
- использование в цепях управления WF-технологий для сокращения количества кабельных связей (в том числе оптических).

2.3.4. Щит собственных нужд (распределительное собственных нужд – РУСН-0.4 кВ) и сборки 0.4 кВ.

В рамках SMART-технологий в РУСН предполагается использование следующих новых технологий:

- цифровые оптические датчики тока и напряжения;
- встроенное устройство регистрации аварийных событий и процессов – PAC (с выдачей осциллограмм в международном формате COMTRADE – Common Format for Transient Data Exchange for Power Systems), предназначенный для обмена данными переходного процесса в энергетических системах;
- в каждом автоматическом выключателе – средства контроля текущего состояния (цифровые, оптические, пассивного типа);
- управление автоматами – по оптическому каналу (отключение и включение);

– групповой модуль связи (для сборок – дублированный или троированный), контролирующей токи всех присоединений и обеспечивающий выполнение функций РЗА. Модуль связи, кроме того, выполняет измерения, функцию АВР и интерфейсного модуля для интеграции в сеть 61850 8.1 и 9.2.

#### 2.3.5. Щит постоянного тока (ЩПТ).

1. В рамках SMART-технологий в ЩПТ предполагается использование следующих новых технологий:

- цифровые оптические датчики постоянного тока и напряжения;
- встроенное устройство РАС (с выдачей осциллограмм в формате COMTRADE);
- в каждом автоматическом выключателе – средства контроля текущего состояния (цифровые, оптические, пассивного типа);
- управление автоматами – по оптическому каналу (отключение и включение).

#### 2. Модуль связи – контроллер управления.

Модуль связи в общем случае включает следующие функциональные субмодули:

- защиты присоединений с заданной чувствительностью и селективностью;
- мониторинга и диагностики аккумуляторной батареи;
- мониторинга подзарядного устройства и инверторов;
- мониторинга «земли» в сети постоянного тока;
- электропитания.

Интерфейс – дублированный оптический, подключаемый к шинам 61850-8.1 и 61850-9.2.

Для контроля аккумуляторной батареи предусматривается поэлементный контроль напряжения каждого элемента (предотвращение лавинообразного увеличения внутреннего сопротивления). Для этого на каждой банке устанавливается автономный микроконтроллер, совмещенный с WF-передатчиком, предохранителем. WF-приемник опрашивает по очереди все банки АБ.

3. Модуль связи – контроллер АБ выполняет расчет оставшегося времени работы (в режиме разряда), расчет оставшегося времени заряда (в режиме заряда), диагностика АБ (по току подзаряда, по количеству и глубине разрядов, по скорости разряда). Результат – остаточная емкость, время работы до снижения емкости ниже заранее заданной величины.

2.3.6. КРУ-6/10 кВ. В рамках SMART-технологий в КРУ-6/10 кВ предполагается использование следующих новых технологий:

- цифровые оптические датчики тока и напряжения;
- встроенное устройство РАС (с выдачей осциллограмм в формате COMTRADE);
- управление выключателями – по оптическому каналу (отключение и включение);
- контроль положения выкатного элемента с помощью оптических датчиков;
- групповой модуль связи, интегрированный в выкатной выключатель (положение которого контролируется с помощью оптических датчиков), измеряющий токи всех присоединений и обеспечивающий выполнение функций РЗА. Модуль связи, кроме того, выполняет измерения, функцию АВР и интерфейсного модуля для интеграции в сеть 61850 8.1 и 9.2. Возможно сокращение размеров ячейки КРУ за счет исключения релейного отсека. Оперативная блокировка и ЛЗШ реализуются посредством GOOSE-технологии.

## **Выводы**

1. Комбинированные цифровые измерительные трансформаторы нового поколения с оптоэлектронным блоком преобразования и модулем объединения или отдельно стоящим модулем объединения, внешним источником синхронизации или внутренним тактовым генератором и цифровыми интерфейсами обеспечивают высокую безопасность, точность и быстродействие, а также имеют малые габариты и вес.

2. Полевые преобразователи в виде модулей, устанавливаемых в интеллектуализируемое техническое средство, или в виде самостоятельных приборов обеспечивают включение традиционных (неэлектронных) измерительных трансформаторов тока и напряжения в инфраструктуру передачи информации ЦПС.

3. Процесс внедрения SMART-технологий применительно к основному электрооборудованию подстанций ЕНЭС имеет два периода: переходной и перспективный и подразумевает под собой в первую очередь увеличение интеллектуальной составляющей средств контроля, управления, защиты и измерений электрооборудования, свойства и характеристики которых рассмотрены далее в третьей главе.