

4. Генеральной схемой размещения объектов электроэнергетики до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9.06.2017 года №

1209-р. [Электронный ресурс] URL: <http://static.government.ru/media/files/zzvuuhfq2f3OJIK8AzKVsXrGibW8ENGp.pdf> (обращение 30.10.2023).

УДК 621.311

Коновалов Юрий Васильевич,
*к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
 e-mail: yrvaskon@mail.ru*

Терехова Анна Андреевна,
*обучающаяся группы ЭЭ-22-1,
 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
 e-mail: annaandreevnaterehova@mail.ru*

Шитенков Григорий Александрович,
*обучающийся группы ЭЭ-22-1,
 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
 e-mail: egoryshitenkov@yandex.ru*

Головатюков Леонид Константинович,
*обучающийся группы ЭЭ-22-1,
 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail:
 leonid.golovatiukov@mail.ru*

Малинин Николай Константинович,
*обучающийся группы ЭЭ-22-1,
 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
 e-mail: nikolaymalinin@gmail.com*

Гусев Илья Григорьевич,
*обучающийся группы ЭЭ-22-1,
 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»*

**ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
 ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ**

Konovarov Yu.V., Terehova A.A., Shitenkov G.A., Golovatyukov L.K., Malinin N.K., Gusev I.G.

**DEVELOPMENT TRENDS OF INTELLIGENT ELECTRICAL SUBSTATION
 ARCHITECTURE**

Аннотация. Рассмотрены вопросы повышения эффективности передачи электроэнергии путем создания мощных сверхдальних линий электропередачи ультравысокого напряжения, выделены объективные предпосылки перспективности их применения, а также тенденции к использованию техники постоянного тока для связи между энергосистемами. Определены первоочередные направления для подготовки и реализации программы развития передач постоянного тока и вставок постоянного тока в единой энергетической системе России.

Ключевые слова: эффективность, передача электроэнергии, ультравысокое напряжение, техника постоянного тока, связи между энергосистемами.

Abstract. The issues of increasing the efficiency of electricity transmission by creating powerful ultra-high voltage long-distance power lines are considered, objective prerequisites for the prospects of their use are highlighted, as well as trends towards the use of direct current technology for communication between energy systems. Priority directions have been identified for the preparation and implementation of the program for the development of direct current transmissions and direct current inserts in the unified energy system of Russia.

Keywords: efficiency, power transmission, ultra-high voltage, direct current technology, connections between power systems.

При реализации концепции интеллектуальной электроэнергетической системы

делают акцент на распределительные электрические сети, включающие возобновляе-

мые источники энергии, с формированием активных и адаптивных свойств распределительных сетей за счет развития распределенной системы адаптивной релейной защиты и автоматики (РЗА), широкого использования цифровых технологий и современных алгоритмов управления [1, 2]. Одним из основных элементов распределительных электрических сетей являются все виды подстанции – узловые распределительные подстанции, районные понизительные подстанции, главные понизительные подстанции, подстанции глубокого ввода и трансформаторные пункты. Развитие цифровых технологий повышает возможности автоматизации и оптимизации и способствует приданию электротехническим устройствам признаков интеллектуальности. Если рассматривать подстанции, то к интеллектуальной ее можно отнести, если на ней обеспечивается максимально возможный контроль состояния всех систем подстанционного оборудования, самодиагностика и выдача рекомендаций по дальнейшим действиям в случае появления развивающегося повреждения или ненормированного воздействия на оборудование. Принципиально важно, что при этом на подстанции должны обеспечиваться все режимы управления своими регулирующими устройствами – автоматический, ручной местный и ручной дистанционный, в том числе из удаленных центров управления, с полным контролем правильности исполнения команд.

Переходным этапом к интеллектуальным подстанциям являются подстанции с микропроцессорными устройствами РЗА. Технологические преимущества появляются при оборудовании полевого уровня подстанции первичными датчиками для сбора информации – оптическими и цифровыми трансформаторами тока и напряжения.

Работа с цифровым видом передачи данных требует возможность работы электронных устройств по единому протоколу. В настоящее время таким протоколом является протокол МЭК 61850. Это стандарт «Сети и системы связи на подстанциях», описывающий форматы потоков передачи данных, виды информации, правила описания элементов электронных устройств и свод алгоритмов и правил для организации событийного протокола передачи данных.

Таким образом к интеллектуальной подстанции можно отнести подстанцию, оборудованную комплексом цифровых ус-

ройств для решения задач РЗА и автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП) – регистрации аварийных событий (РСА), автоматизированной системы учета и контроля качества электроэнергии (АСКУЭ) и телемеханики. Все единицы оборудования, являющиеся интеллектуальными электронными устройствами (IED), общаются между собой и центральным сервером объекта по последовательным каналам связи на единых протоколах.

Главное отличие стандарта МЭК 61850 от других стандартов заключается в том, что в нем регламентированы вопросы по передаче данных между устройствами IED, и вопросы формализации описания схем подстанции, РЗА, измерений и конфигураций устройств. Стандарт позволяет использовать новые цифровые измерительные устройства взамен аналоговым: цифровые и оптические трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН). Информационные технологии позволяют перейти к автоматизированному проектированию цифровых подстанций, управляемых цифровыми интегрированными системами [3-5]. Вся информация на интеллектуальных подстанциях цифровая и объединяется в шину процесса. Это дает возможность значительно сократить число медных кабелей и устройств, а также позволяет более компактно их располагать.

Архитектура интеллектуальной подстанции, делится на три уровня: станционный уровень; уровень присоединения и полевой уровень (уровень процесса).

Полевой уровень включает в себя:

- первичные датчики для сбора дискретной информации и передачи команд управления на коммутационные аппараты;
- первичные датчики для сбора аналоговой информации (цифровые и оптические трансформаторы тока и напряжения).

Уровень присоединения включает в себя интеллектуальные электронные устройства:

- устройства управления и мониторинга (контроллеры присоединения, многофункциональные измерительные приборы, счетчики АСКУЭ, системы мониторинга трансформаторного оборудования и т.д.);
- терминалы РЗА и локальной противоаварийной автоматики (ПА).

Станционный уровень включает в себя:

- серверы верхнего уровня (сервер базы

данных, сервер SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – система сбора данных и оперативного контроля), сервер телемеханики, сервер сбора и передачи технологической информации и т.д., концентратор данных);

- АРМ персонала подстанции.

Данные с уровня процесса, с цифровых и оптических ТТ и ТН, преобразуются в Ethernet-пакеты широкого вещания с использованием мультиплексоров (Merging Units), на основе стандарта МЭК 61850-9. Сформированные пакеты передаются по Ethernet (шина процесса) в устройства присоединения (контроллеры АСУ ТП, РЗиА, ПА и др.). Частота дискретизации данных не ниже 80 точек на период для РЗиА и ПА, и 256 точек на период для АСУ ТП, АСКУЭ и др.

Вся дискретная информация и данные о положении коммутационных аппаратов (положение ключей режима управления, состояние цепей обогрева приводов и др.) собираются с помощью модулей устройств связи с объектом (УСО), которые располагаются вблизи от коммутационных аппаратов. В составе УСО имеются релейные выходы, которые требуются для управления коммутационными аппаратами, синхронизация УСО осуществляется с точностью не ниже 1 мс. Данные от выносных модулей УСО передаются по оптоволоконным каналам связи по протоколу МЭК 61850-8-1 (GOOSE), являются частью шины процесса. Так же через УСО осуществляется передача команд управления на коммутационные аппараты.

Цифровые датчики устанавливаются на силовое оборудование. Так же сейчас существуют специальные системы мониторинга элегазового и трансформаторного оборудования с цифровыми интерфейсами для интеграции в АСУ ТП в обход дискретных выходов и датчиков на 420 мА. Цифровые ТТ и ТН встраиваются в современные комплектные распределительные устройства элегазовые (КРУЭ), а для сбора дискретных данных используют УСО. Большая часть цифровых датчиков устанавливаются в КРУЭ еще на заводе-изготовителе, что значительно упрощает процесс проектирования, монтажа и наладки.

Отличительной особенностью интеллектуальной подстанции является появление нового станционного уровня, это объединенный средний (концентраторы данных) и верхний (сервера и АРМ) уровень. Это свя-

зано с внедрением протокола МЭК 61850-8-1 (единство протоколов). Ранее средний уровень выполнял функцию преобразования информации в единый формат для интегрирования в АСУ ТП, но с МЭК 61850-8-1 это потеряло актуальность. Уровень присоединения состоит из интеллектуальных электронных устройств, которые, получая информацию от устройств полевого уровня, логически обрабатывают ее и передают управляющие воздействия через устройства полевого уровня на первичное оборудование, а также осуществляют доставку информации на станционный уровень. К этим устройствам можно отнести различные многофункциональные микропроцессорные устройства, например, контроллеры присоединения и терминалы РЗиА.

Гибкость также является отличительной особенностью интеллектуальной подстанции. Устройства для них выполняются по модульному принципу, из-за этого могут совмещать в себе много различных функций. Гибкость интеллектуальной подстанции позволяет реализовать различные решения с учетом особенностей энергообъекта. При модернизации существующих подстанций без замены силового оборудования, можно установить УСО, для оцифровки первичной информации. УСО помимо плат дискретного ввода/вывода содержат платы прямого аналогового ввода (1/5 А), что позволяет собрать и оцифровать данные с традиционных ТТ и ТН в протокол согласно МЭК 61850-9-2. Дальнейшая модернизация, такая как замена традиционных измерительных трансформаторов на оптические, не повлияет на уровни присоединения и подстанции. В случае использования КРУЭ имеется возможность совмещения функций выносного УСО, аналогового мультиплексора и контроллера присоединения. Это устройство устанавливается в шкаф управления КРУЭ, что позволит оцифровать исходную информацию, выполнить функцию контроллера присоединения и функции резервного местного управления.

С появлением стандарта МЭК 61850 можно сказать, что производители начали разработку и выпуск продукции для интеллектуальных подстанций. Сейчас уже существует достаточно много различных решений для таких подстанций по МЭК 61850, которые показывают преимущества этой технологии.

Основными подразделами протокола

МЭК 61850, определяющими архитектуру интеллектуальной подстанции, являются:

МЭК 61850-8-1 GOOSE (generic object oriented substation event) – быстрые сообщения, включающее телеизмерения, телесигнализацию, сигналы управления, использующие «горизонтальную» многоадресную (Multicast) рассылку данных о состоянии IED.

МЭК 61850-8-1 MMS (manufacturing message specification) – протокол обмена «вертикальными» сообщениями (отчеты/reports) в стандарте ISO 9506. Используется для обмена между IED и SCADA.

МЭК 61850-9-2 SV (Sampled Values) – данные измерений мгновенных значений тока/напряжения, относящиеся к одному моменту времени, объединяются в выборки (срезы мгновенных значений тока и напряжения). Для систем релейной защиты, автоматики, АСУ ТП и учета электрической энергии с цифровыми каналами тока и напряжения в формате МЭК 61850-9-2 частота преобразования составляет 4000 Гц (что соответствует передаче 80 отсчетов за период при номинальной частоте сети 50 Гц). Для систем регистрации аварийных событий и качества электрической энергии частота преобразования составляет 12800 Гц (что соответствует передаче 256 отсчетов за период при номинальной частоте сети 50 Гц).

При интеллектуализации подстанций появляются следующие преимущества:

1. Повышенная надежность и доступность.

Способность глубокой самодиагностики цифровых устройств обеспечивает максимальную жизнеспособность подстанции. Любое ухудшение работоспособности фиксируются в режиме реального времени. Имеющаяся избыточность данных в системе могут быть использована для исправления неполадок, что и позволяет выполнять поиск неисправностей без необходимости каких-либо отключений системы в первичной сети.

2. Оптимизация работы.

Анализ, производимый цифровыми схемами подстанций, позволяет проводить тщательный мониторинг объема данных поступающих со станционного оборудования, относительно его проектных уровней.

3. Сокращение расходов на обслуживание.

Цифровая подстанция детально мониторит все процессы, происходящие в обо-

довании. Интеллектуальные системы анализа данных предоставляют рекомендации по техническому обслуживанию и ремонту. Это позволяет переходить на прогностическое или надежно-ориентированное обслуживание, избегая незапланированных простоев и чрезвычайных расходов на ремонт.

4. Улучшенные коммуникационные возможности.

Обмен данными между интеллектуальными устройствами, как внутри, так и между межрегиональными подстанциями, оптимизирован через Ethernet. Качественные локальные и глобальные блоки контроля позволяют производить обмен данными на подстанции, а также между подстанциями. Прямые связи между подстанциями, без необходимости транзита через центр управления, уменьшают время реагирования.

5. Упрощение вторичных присоединений.

Замена медных кабелей на оптоволоконно.

6. Повышение качества измерения:

- отсутствие погрешности при передаче и обработке цифрового сигнала;

- информация надежно передается;

- самоконтролируемые каналы связи;

- минимизирована электромагнитная совместимость;

- цифровые и оптические измерительные трансформаторы имеют более высокую точность;

- нет проблем с насыщением ТТ, обрыва ТТ, феррорезонанса;

- на цифровых измерительных трансформаторах отсутствует нагрузка;

- не требуется обслуживание кабелей связи.

7. Отсутствие электрической связи между первичным и вторичным оборудованием – отсутствует возможность передачи электромагнитных помех от первичного оборудования во вторичные цепи.

8. Уменьшение помещений централизованных диспетчерских управлений на подстанции – гибкость вторичного оборудования, миниатюризация.

В настоящее время идет активное развитие технологий интеллектуализации электроустановок, основанных на стандарте МЭК 61850, реализуются технологии Smart Grid, вводятся в эксплуатацию приложения автоматизированных систем технологического управления. Эти технологии в будущем

должны сократить расходы на проектирование, пуско-наладку, эксплуатацию и обслужива-

ние энергетических объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение о единой технической политике ОАО «ФСК ЕЭС». [Электронный ресурс] URL: http://www.fsk-ees/about/standards_organization.html (обращение 05.11.2023).

2. Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35–750 кВ. [Электронный ресурс] URL: http://www.fskees/about/standards_organization.html (обращение 05.11.2023).

3. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ. [Электронный ресурс] URL: http://www.fskees/about/standards_organization.html (обращение 05.11.2023).

4. Правила устройства электроустановок. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2011. – 928 с.

5. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской федерации. – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 175 с.

УДК 621.311

Ткаченко Никита Александрович,

директор учебного центра «Прогресс», e-mail: uc-progress@bk.ru

Засухина Ольга Александровна,

доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: olga_a_z@mail.ru

Засухин Александр Владимирович,

специалист ИТ-отдела учебного центра «Прогресс», e-mail: zasuhin_av@bk.ru

ОБУЧЕНИЕ ОХРАНЕ ТРУДА И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УЧЕБНОМ ЦЕНТРЕ «ПРОГРЕСС»

Tkachenko N.A., Zasukhina O.A., Zasukhin A.V.

OCCUPATIONAL SAFETY AND ELECTRICAL SAFETY TRAINING USING INFORMATION TECHNOLOGIES AND DISTANCE EDUCATION TOOLS AT THE TRAINING CENTER «PROGRESS»

Аннотация. Рассмотрены информационные технологии, применяемые в образовании, представлен сайт учебного центра «Прогресс», на базе которого разработан дистанционный обучающий и контролирующий программный продукт, позволяющий проводить обучения по охране труда по электробезопасности.

Ключевые слова: образование, информационные технологии, охрана труда, электробезопасность, андрагогика, программный продукт.

Abstract. The information technologies used in education are considered, the website of the training center «PROGRESS» is presented, on the basis of which a remote training and monitoring software product has been developed that allows conducting training on labor protection in electrical safety.

Keywords: education, information technology, occupational safety, electrical safety, andragogy, software product.

Внедрение информационных систем и средств визуализации в образовании получило широкое распространение довольно давно: применение обучающих видео роликов, интерактивные доски, геймификация обучающего процесса, веб университеты и т.д.

Всё это мощные инструменты, позволяющие перевести процесс обучения на новый качественный уровень.

Сама информатизация образовательного процесса открывает перед преподавателями и студентами следующие возможности: