

23. Экспериментальное исследование пародинамического термосифона с кольцевыми каналами в испарителе и конденсаторе / Л. Л. Васильев [и др.] // Тепло- и массообмен – 2015 : сб. науч. тр. / ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси. – Минск, 2016. – С. 18–23.
24. Экспериментальное исследование работы термосифонов, заправленных хладагентами R404A, R407C, R410A / А. В. Шаповалов [и др.]. // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2020. – № 3/4. – С. 87–93.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ: ЦИФРОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ

В. А. Маркевич

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Т. В. Алфёрова

Рассмотрены преимущества и целесообразность применения цифровой подстанции как одной из инновационных технологий в области цифровизации электроэнергетики.

Ключевые слова: инновационные технологии, цифровая подстанция, логические уровни, интеллектуальная сеть, GOOSE-сообщения, безопасность, надежность.

Инновационными технологиями в области цифровизации электроэнергетики (цифровая подстанция) можно считать «интеллектуальные» технологии управления объектами электросетевого комплекса в рамках международного стандарта «МЭК 61850. Цифровые подстанции»: «цифровой переход» в электроэнергетике.

Цифровая подстанция (ЦПС) – это объект энергетического хозяйства, выполняющий основные технологические функции передачи, преобразования, распределения и снабжения электроэнергией потребителей, состоящий из интеллектуального первичного и вторичного оборудования, использующего унифицированный цифровой информационный обмен данными для организации внутренних (вторичных) систем энергообъекта с целью поддержания его работоспособности и выполнения основных функций.

Цели внедрения ЦПС и причины, по которым нужно внедрять технологии:

- снижение ошибок и повышение, надежности на ПС. Как следствие повышение обоснованности и своевременности принятия управленческих решений;
- повышение функциональной совместимости устройств – переход на новый уровень;
- сокращение времени на проектирование и наладку;
- сокращение затрат на проектирование и строительство;
- сокращение затрат на эксплуатацию ЦПС.

Проблемы, мешающие внедрению ЦПС:

- технические вопросы, требующие дополнительной стандартизации. Нужно время для выработки и применения определенных стандартизированных решений;
- необходимо разрабатывать ПО для проектирования ЦПС. Разработка ПО в соответствии с МЭК 61850-4;
- применение новых технологий. Оборудование и ПО должно проходить опытную эксплуатацию для определения явных преимуществ;
- повышение квалификации наладочных, эксплуатирующих и проектных организаций. Создание и проведение курсов по ЦП на базе сформированных стандартов по ЦПС.

Существуют две полярные архитектуры цифровой подстанции: централизованная и децентрализованная.

Централизованная архитектура представляет собой реализацию функций защиты, управления, измерений и т. д. для распределительного устройства или подстанции в целом в одном вычислительном устройстве (сервере) с резервированием. Для реализации данной концепции необходимы значительные вычислительные мощности сервера, реализующего алгоритмы защиты и управления. Такой производительностью обладают мощные серверные платформы общего назначения с многоядерной архитектурой, способные обрабатывать большое количество SV потоков и решать множество алгоритмических задач в режиме реального времени.

Однако применение аппаратных платформ общего назначения имеет ряд существенных недостатков:

- стоимость оборудования привязана к курсу USD, так как используется иностранное оборудование;
- узкий температурный диапазон эксплуатации (в среднем – 10–35 °С);
- вентиляторное охлаждение (как следствие – снижение надежности, чувствительность к наличию в воздухе частиц пыли, сервер работает как «пылесос»);
- необходимость обслуживания;
- ограниченный срок эксплуатации (в среднем – 5 лет).

Конечно, ограничения по условиям эксплуатации можно обойти, устанавливая серверы в специализированных помещениях (серверных комнатах), оборудованных системой поддержания климата и защищенных от электромагнитных помех. Однако данные помещения существуют далеко не на каждой подстанции. В основном серверные помещения имеются на крупных подстанциях магистральных сетей, что делает недоступной технологию цифровой подстанции для сегмента distribution, а технология должна быть масштабируемой.

Децентрализованная архитектура подразумевает сохранение традиционной структуры систем защиты и управления, когда за отдельную функцию отвечает отдельное устройство. Придерживаться децентрализованной архитектуры при построении цифровой подстанции довольно «удобно», так как структурная схема объекта автоматизации имеет привычный заказчику и проектировщику вид. Например, на каждый фидер устанавливаются цифровой терминал РЗА и контроллер присоединения. При этом большинство разработчиков оборудования РЗА и АСУ ТП «превращают» обычный терминал или контроллер в «цифровой» IED, заменяя блок аналогового ввода и дискретного ввода/вывода на цифровой интерфейс. При этом концептуально устройство остается традиционным, изменился лишь метод обмена данными этого устройства с «внешним миром».

Для реализации данной архитектуры цифровой подстанции подразумевается применение большого числа устройств, т. е. количество терминалов, контроллеров и других IED остается прежним относительно «традиционной» архитектуры, но к их числу добавляются аналоговые и дискретные устройства сопряжения (AMU, DMU), а также сетевые коммутаторы. Безусловно ЛВС, образующая шину процесса, требует резервирования, так как является критической точкой отказа всей системы. При этом, если устройства, подключаемые в шину процесса, не поддерживают протокол резервирования PRP, то необходимо применение большого числа устройств RedBox. Также если устройства AMU не поддерживают синхронизацию по шине процесса посредством протокола PTP, то для их синхронизации по 1PPS или IRIG-B возникает необходимость построения отдельной сети.

Применение подобной архитектуры ведет к многократному удорожанию систем автоматизации, построенных по принципам цифровой подстанции, относительно «традиционных». Конечно, две рассмотренные выше архитектуры (централизованная и децентрализованная) являются противоположными крайностями, и как большинство радикальных подходов не могут быть оптимальными с точки зрения технико-экономических показателей [1].

Стандарт МЭК 61850 «Сети и системы связи на подстанциях», описывающий форматы потоков данных, виды информации, правила описания элементов энергообъекта и свод правил для организации событийного протокола передачи данных, включает в себя описания технологий передачи данных по сетям связи Ethernet, требования к системам управления, а также требования к физическому исполнению коммуникационных устройств.

Стандарт МЭК 61850 предназначен в том числе и для применения в системах релейной защиты и автоматики (РЗА), что позволяет проектировать распределенные и гибкие системы, отвечающие современным тенденциям. Гибкость системы подразумевает применение одного физического устройства для выполнения тех или иных функций в зависимости от существующих задач. Распределенность позволяет физически разнести функциональность системы, которая прежде содержалась в едином микропроцессорном устройстве РЗА, на различные устройства, которые объединены единой информационной шиной и могут быть удалены друг от друга. В соответствии с указанными требованиями систему РЗА предлагается формировать из функциональных модулей. Например, для применения в комплектном распределительном устройстве (КРУ) могут быть использованы промышленные модули (устройства), устанавливаемые как в непосредственной близости от объекта контроля в ячейке для осуществления аналого-цифровых преобразований контролируемых величин, так и вне ее для приема этих данных, их функциональной обработки и принятия решений.

Подстанции, соответствующие стандарту МЭК 61850-3 «Основные требования», принято делить на три логических уровня: уровень станции, присоединения и процесса.

1. На *уровне станции* происходит протоколирование нарушений работы, защита шин, определение последовательности действий, а также архивация данных, диспетчерский контроль и синхронизация времени.

2. На *уровне присоединений* осуществляется релейная защита и мониторинг линий, протоколирование нарушений (сбор данных), работает локальная противоаварийная автоматика.

3. На *уровне процессов* осуществляется сбор данных, протоколирование нарушений и выдача команд управления.

На уровне процесса данные с оптических или электронных датчиков напряжения и тока, а также данные состояния собираются и в цифровом виде преобразуются объединяющими микропроцессорными устройствами.

Передача мгновенных значений от измерительных трансформаторов производит наибольшую нагрузку на информационную сеть шины процесса. В традиционной схеме подключения устройств РЗА цепи от измерительных трансформаторов тока и напряжения, находящихся на ОРУ или в КРУЭ, прокладываются до терминалов РЗА, размещенных в ОПУ.

Использование концепции шины процесса для передачи данных (рис. 1) предполагает, что все сигналы, включая мгновенные значения токов и напряжений, оцифровываются непосредственно в аппарате и передаются устройствам защиты и автоматики в виде цифрового потока данных по информационной сети, называемой шиной процесса [2].

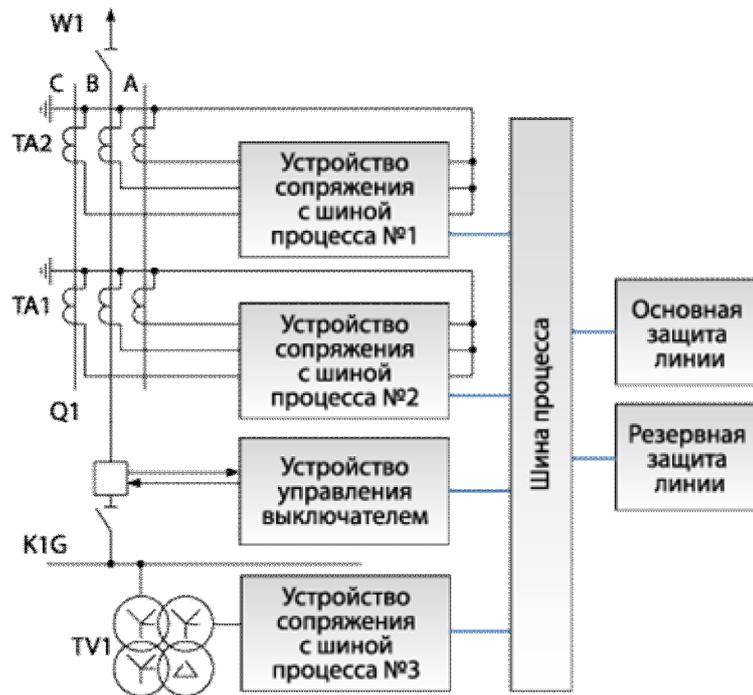


Рис. 1. Использование шины процесса для передачи данных

Если давать характеристику передаче мгновенных значений тока и напряжения, то можно сформулировать следующие требования:

- необходима передача данных с высокой частотой, что ведет к появлению больших объемов информации, передаваемых по сети. При этом должна быть обеспечена возможность выбора различных частот;
- необходимо обеспечить минимальную задержку при передаче данных по сети шины станции;
- измерения, получаемые из различных источников одним приемником (например, значения тока и напряжения от разных устройств сопряжения), должны быть синхронизированы. В противном случае возможна некорректная работа устройств РЗА;
- требуется обеспечить возможность выявления потерь и искажений данных при передаче данных с целью исключения возможных излишних и ложных срабатываний РЗА, а также сигнализации в случае отказа канала связи или устройства сопряжения;
- необходима возможность многоадресной передачи данных;
- требуется гибкость при формировании кадров данных, поскольку измерения могут поступать как от группы трехфазных ТТ или ТН, так и от комбинированных измерительных преобразователей [2].

Протокол GOOSE, описанный частью МЭК 61850-8-1 «Описание специфического сервиса связи (SCSM)», является одним из наиболее широко известных протоколов, предусмотренных стандартом МЭК 61850.

Для разработки альтернативы цепям передачи сигналов между устройствами релейной защиты была дана общая характеристика информации, передаваемой между устройствами РЗА посредством дискретных сигналов:

- малый объем информации: между терминалами фактически передаются значения «да» и «нет» (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 сообщения для реализации ответственных функций, таких, как подача команды отключения выключателя от РЗА, обмен сигналами между РЗА при выполнении распределенных функций. Необходимо обеспечение гарантированной доставки сообщения 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 сообщения.

Перечисленные требования привели к разработке механизма GOOSE-сообщений, отвечающих всем предъявляемым требованиям [3].

Передаваемый пакет GOOSE-сообщения содержит все текущие значения атрибутов данных, внесенных в набор данных. При изменении какого-либо из значений атрибутов устройство моментально инициирует посылку нового GOOSE-сообщения с обновленными данными. Принцип передачи GOOSE-сообщений приведен на рис. 2.

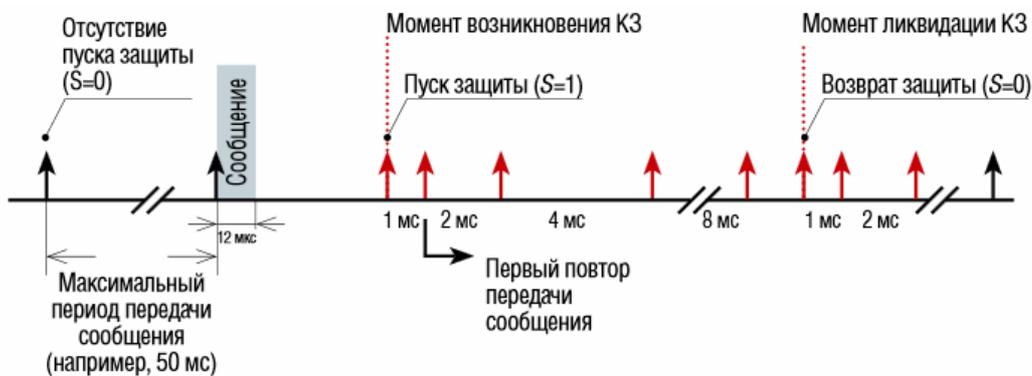


Рис. 2. Принцип передачи GOOSE-сообщений

Следует отметить, что в рамках одного GOOSE-сообщения может отправляться как одно значение (например, сигнал пуска МТЗ), так и одновременно несколько значений (например, сигнал пуска и сигнал срабатывания МТЗ и т. д.). Устройство-получатель при этом может извлечь из пакета лишь те данные, которые ему необходимы [3].

Таким образом, можно сделать выводы о целесообразности использования технологий ЦПС: цифровые подстанции исключают электрические связи между высоковольтным оборудованием и панелями релейной защиты и управления, что создает более безопасные условия работ и в то же время снижает требования к занимаемой площади, затраты на строительство, монтажные и пусконаладочные работы, обслуживание всей системы и эксплуатационные затраты. Цифровые подстанции являются ключевым компонентом интеллектуальной сети, в которой появляется все большее количество непостоянных возобновляемых источников электроэнергии, и помогают

повысить безопасность и надежность за счет нового качества предоставляемых данных и сокращения времени принятия решений при авариях.

Литература

1. Анисимов, А. И. Цифровая подстанция. Эффективные решения / А. И. Анисимов // Информатизация и системы упр. в пром-сти. – 2019. – № 1 (79).
2. Аношин, А. О. Стандарт МЭК 61850. Протокол передачи мгновенных значений тока и напряжения / А. О. Аношин, А. В. Головин // Новости электротехники. – 2013. – № 2 (80).
3. Аношин, А. О. Стандарт МЭК 61850. Протокол GOOSE / А. О. Аношин, А. В. Головин // Новости электротехники. – 2012. – № 6 (78).

ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕГОНКИ НА СВОЙСТВА ПЕЧНОГО БЫТОВОГО ТОПЛИВА И ЕГО СМЕСИ С ЭТАНОЛОМ

А. А. Ковальчук

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Е. Н. Макеева

Исследованы свойства печного бытового топлива и его смеси с этанолом до и после вторичной перегонки. Определена оптимальная концентрация этанола в смеси с печным бытовым топливом, при которой получены наилучшие показатели.

Ключевые слова: печное бытовое топливо, этанол, вторичная перегонка, кривая разгонки.

В статье рассматриваются виды и особенности печного бытового топлива (ПБТ) и его смеси с этанолом, а также свойства топлива до перегонки и полученного дистиллята. Экспериментально исследуется фракционный состав топлива. Определяется эффективность использования этанола в качестве добавки и его оптимальная концентрация.

Печное бытовое топливо – это продукт нефтепереработки, который получают из дизельных фракций нефти вторичной перегонки. Такой способ изготовления обуславливает относительно невысокие затраты на его производство [3].

Классификация печного топлива проводится по ряду критериев. По характеристикам вязкости, теплоотдачи и температуре застывания печное топливо делится на следующие марки: легкое, среднее, тяжелое [2].

Кроме того, печное бытовое топливо может быть темным или светлым. Темное топливо используется в основном для бытовых нужд. Оно отлично подходит, когда нужно обогреть небольшой дом или подсобное помещение, а также используется в небольших энергоустановках. Также оно обладает целым комплексом преимуществ – очень экономично и энергоэффективно за счет того, что имеет высокую калорийность. Можно еще добавить, что этот вид топлива обладает низкой температурой замерзания, – начинает замерзать только при температурах $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже [2].

Экспериментальное исследование фракционного состава и температуры вспышки проводилось на установках АРН-ЛАБ-03 и ТВО-ЛАБ-01 (рис. 1).