



Авторы:  
Сюй Лэй,  
Дун Сюэпэн,  
NR Electric Co.,LTD,  
Китай.

## ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ В КИТАЕ

Аннотация: Цифровая подстанция (ЦПС) чрезвычайно важна для создания интеллектуальной сети. Благодаря выполнению большого числа экспериментальных (пилотных) проектов строительства ЦПС, накоплен богатый опыт эксплуатации в Китае. Строительство ЦПС постепенно вступает в стадию быстрого развития. В настоящей статье кратко обобщается состояние и процесс дальнейшего развития технологий ЦПС в Китае, описан ход развития ЦПС. Анализируется существующее состояние исследования и применения ключевых технологий ЦПС в Китае.

Ключевые слова: ЦПС, IEC 61850, цифровой измерительный трансформатор, интеллектуальный терминал, объединяющее устройство.

### Введение

В связи с быстрым развитием электронной базы компьютерных и сетевых технологий, средств коммуникаций, интеллектуальные электронные устройства (IED) электроэнергетической системы характеризуются небольшими размерами, высоким уровнем цифровизации и малым энергопотреблением. В то же время развитие фотоэлектрической технологии позволило перейти с передачи данных традиционными аналоговыми сигналами на передачу цифровым сигналом. Эти технологии и особенности побудили создать ЦПС, которая разработана на основе стандарта IEC-61850, а также охватывает современные технические условия и стандарты по проектированию, управлению проектами, коммуникационным механизмом. Эти стандарты способствуют значительному повышению интеллектуальности первичного оборудования, сетизации вторичного оборудования и совместимости устройств, упрощают электрические соединения и повышают степень автоматизации ПС.

По сравнению с традиционными ПС, ЦПС имеет: компактную структуру, высокую степень интеграции системы, общий обмен информацией, высокую безопасность и надежность и другие характеристики, при этом представляя собой энергосберегающую и экологичную ПС. Приложения на основе IEC 61850 осуществляют единое моделирование и обмен информацией между первичным и вторичным оборудованием. Интегрированная информационная платформа обеспечивает экономичную эксплуатацию, интеллек-

туальное принятие решений, оптимальное управление и другие современные возможности. Применение ЦПС может увеличить производительность, повысить уровень управляемости электрической сети, снизить эксплуатационные расходы.

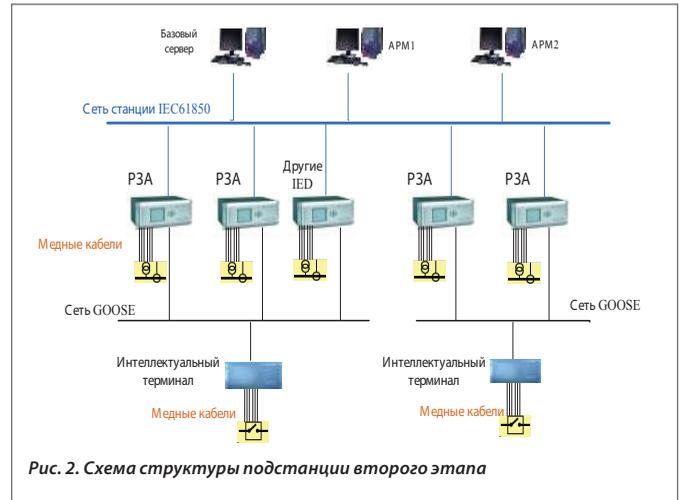
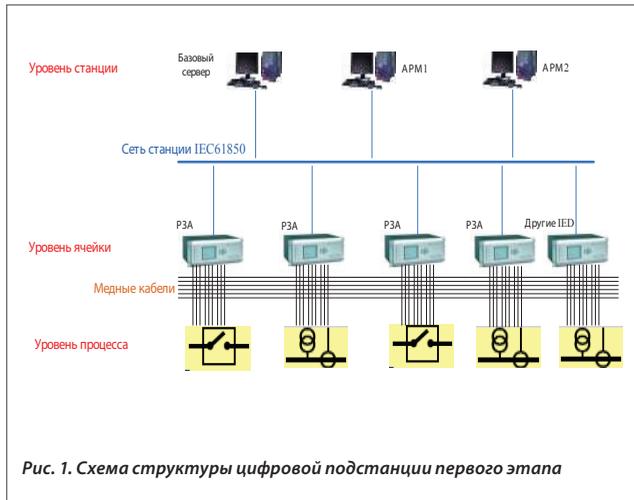
### Процесс развития цифровых подстанций в Китае

В Китае еще в 2003 году началась исследовательская работа по созданию ЦПС. С 2005 года под руководством центра оперативно-диспетчерского управления Китайской государственной сетевой компании производители провели порядка 6-ти испытаний на взаимодействие оборудования по протоколу IEC 61850. Испытания содействовали разработке отечественных IEC 61850-продуктов и сыграли важную роль в распространении IEC 61850 в Китае. Как результат внедрения этих достижений, технология ЦПС быстро развивается в Китае.

Исторически процесс развития интеллектуальной ЦПС в Китае прошел три этапа:

На первом этапе уровень станции разрабатывался в соответствии со стандартом IEC 61850 (MMS-сети) следующим образом: соединение между уровнем ячейки и уровнем процесса по-прежнему выполнялся с помощью медных кабелей (см. рис. 1). Такая ПС представляет собой модель ранней стадии развития ЦПС. Из-за отсутствия цифровизации уровня процесса такая структура не является, строго говоря, полноценной ЦПС.

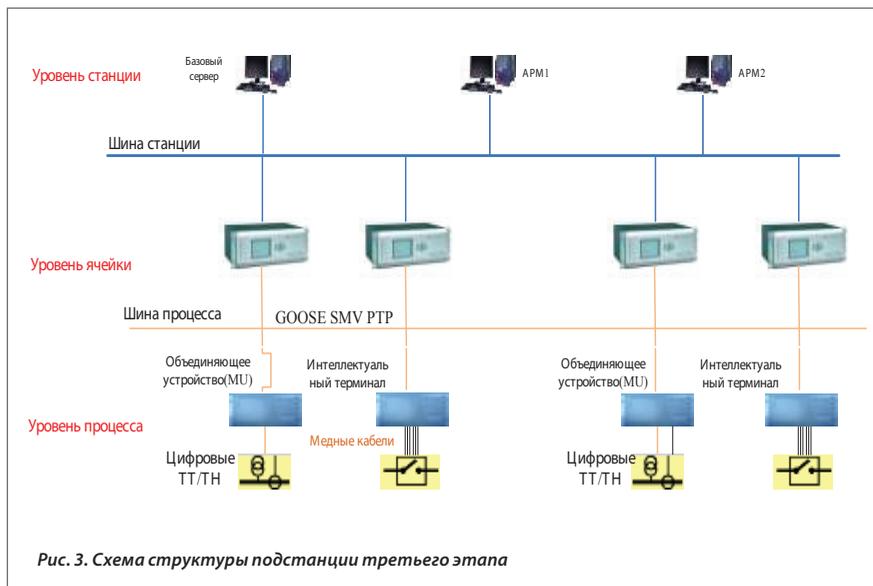
На втором этапе уровень станции разрабатывался также в соответствии со стандартом IEC 61850 (MMS-сети) несколько иным способом: аналоговые сигналы



передавались через медные кабели, предназначенные для соединения традиционных измерительных трансформаторов и устройств уровня ячейки. Интеллектуальные терминалы управления ячейкой обеспечивают интеллектуализацию управления коммутационными аппаратами, причем передача сигналов положения и управления осуществляется путем GOOSE-сообщений. Такая ПС выполняет цифровую передачу дискретных сигналов, но передача выборочных значений традиционным кабельным

методом представляет собой особый этап в развитии ЦПС (см. рис. 2). На третьем этапе уровень станции, соответствующий протоколу IEC 61850 (MMS-сеть), стал еще выше: на уровне процесса установлены «цифровой измерительный трансформатор+объединяющее устройство» или «традиционный измерительный трансформатор+ локальное объединяющее устройство», предназначенные для оцифровки выборочных значений электрических величин. Оцифровка первичных коммутационных ап-

паратов выполняется интеллектуальным терминалом. Кроме того, данная ПС обеспечивает онлайн-мониторинг и дополнительные функциональные приложения для первичного оборудования. Техника SV и GOOSE осуществляет цифровую передачу информации уровня процесса, онлайн-мониторинг, а дополнительные функциональные приложения предназначены для дальнейшего повышения уровня интеллекта подстанции. ПС данного этапа является основной моделью построения серии ЦПС в Китае (см. рис. 3).



По планам Китайской государственной сетевой компании активно осуществляются экспериментальные проекты ЦПС и работа по совершенствованию соответствующих стандартов. Ряд стандартов по проектированию, устройствам и испытанию для цифровых подстанций был уже разработан и официально утвержден. В 2011 году были разработаны 36 стандартов, в результате чего была образована система технических стандартов для руководства проектами и строительством ЦПС.

По неполным статистическим данным, с 2006 года несколько сотен ЦПС разных уровней «интеллекта» и разных классов напряжения один за другим вводились в эксплуата-

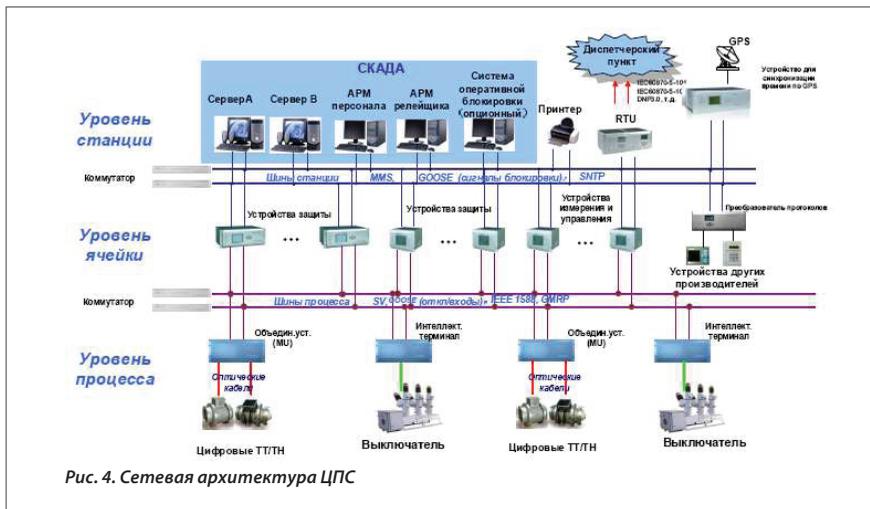


Рис. 4. Сетевая архитектура ЦПС

цию: в 2009 и 2010 гг. в Китае были выполнены проекты строительства 74 ЦПС, в том числе 7 построены в 2009 году; 67 ЦПС построены в 2010 году. Проекты реализованы в 30 провинциях и областях. В процессе исследования, разработки, проектирования и эксплуатации накоплен большой опыт применения.

После выполнения опытных проектов на первом этапе развития ЦПС в Китае наступает этап полномасштабного строительства. Постепенная унификация и совершенствование технических стандартов ускоряют внедрение ЦПС. В период 12-той пятилетки в Китае будут построены 5100 новых ЦПС напряжением 110 кВ и выше.

**Применение техники ЦПС**

ЦПС в соответствии с логической функцией может быть разделена на 3 уровня: станции, ячейки и процесса. В состав уровня процесса входят: системы СКАДы, телемеханики, синхронизации времени, видеонаблюдения и другие части. В состав уровня ячейки входят устройства: РЗА разных классов напряжения, измерения и управления, регистраторы и другие интеллектуальные электронные устройства. В состав уровня процесса входят: объединяющее устройство, цифровые измерительные транс-

форматоры и интеллектуальные терминалы. На рис. 4 показана сетевая архитектура ЦПС. Уровень станции является наивысшим уровнем представления функциональных применений ЦПС и обеспечивает взаимодействие человека с компьютером, мониторинг в режиме реального времени, онлайн анализ. Он представляет собой платформу, которая помогает обслуживающему персоналу понять, регулировать, анализировать состояние эксплуатации ПС. Поток сетевых данных уровня станции большой, поэтому требование к надежности сетевой передачи очень высокое. Использование TCP / IP- протокола позволяет управлять ошибками данных, потоком, эффективно обеспечивает правильность данных, достаточную точность и свойство реального масштаба времени.

Уровень ячейки представляет собой вычислительную часть логических функций ячейки: устройство защиты данного уровня осуществляет логические операции; устройство измерения и управления производит сбор данных в реальном времени и обработку команд управления; регистратор производит сбор и сохранение аналоговых величин до и после аварии. Микропроцессорные устройства на уровне ячейки могут

выполнять сложные логические операции и человеко-компьютерное взаимодействие. Устройства данного уровня могут выполнять обмен данными с уровнем процесса, чтобы получить необходимые аналоговые и дискретные величины в режиме реального времени от уровня процесса и выдать соответствующую команду управления. В связи с тем, что устройства уровня ячейки выполняют сложные и важные логические операции и человеко-компьютерное взаимодействие, требования к скорости обработки данных, безопасности и надежности программного обеспечения более высокие.

Уровень процесса представляет собой структурную часть для сбора данных и выполнения команд. Интеллектуальный терминал и объединяющее устройство – типичное оборудование уровня процесса. Технические характеристики заключаются в том, что GOOSE-техника на основе связи канального уровня с использованием метода быстрой повторной передачи обеспечивает стабильную, безопасную и надежную передачу сообщений. Благодаря применению высокоскоростной сетевой связи на канальном уровне, данная платформа позволяет совместно использовать данные уровня процесса через сеть. Оборудование уровня ячейки может получить данные от уровня процесса по требованию, в результате этого сократится повторное распределение данных, осуществляется беспрепятственная связь между различными видами оборудования. После цифрового преобразования традиционные медные кабели заменены небольшим количеством волоконно-оптического кабеля, который обеспечивает высокую скорость передачи, исключает электромагнитные помехи и имеет надежные экологические свойства.

**Цифровые измерительные трансформаторы и объединяющие устройства**

В начале 1990-х годов в Китае началась работа по исследованию



Рис. 5. GIS-электронные ТТ/ТН на подстанции Wushan (Китай)

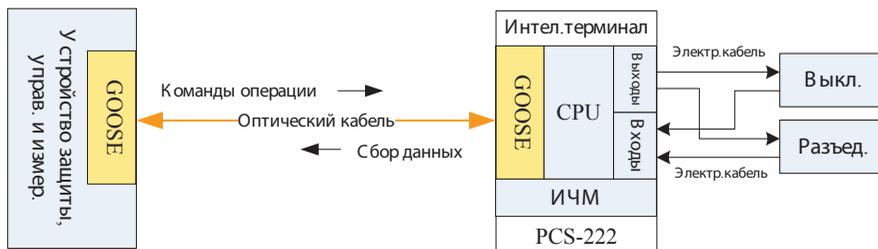


Рис. 6. Принципиальная схема интеллектуального терминала управления

цифрового измерительного трансформатора, которая после 2000 года перешла в стадию инженерных исследований. Начиная с 2006 года, фирма NR Electric и некоторые другие производители начали разработку и производство цифровых измерительных трансформаторов для практического применения. По предварительной статистике, к концу 2011 года уже более 1000 комплектов различного типа цифровых трансформаторов были введены в эксплуатацию в Китае.

Процесс создания и развития цифровых измерительных трансформаторов в Китае в целом прошел три этапа. На первом этапе применялись электронные измерительные трансформаторы, где используются катушки Роговского в качестве датчика тока для защиты, средств измерений и учета. Функции трансформатора тока и трансформатора напряжения реализованы в одном изделии. Еще в 2006 году началось практическое применение электронного измерительного трансформатора и сегодня уже накоплен большой опыт эксплуатации. Предлагаются комплектные изделия с изоляцией GIS и AIS.

Второй этап развития цифрового измерительного трансформатора характеризуется применением оптического датчика тока без источника питания. На ранней стадии использовался датчик магнитооптического стекла, затем – датчик полного оптического волокна (FOCT). Сложная конструкция дискретных элементов магнитооптиче-

ского стекла очень трудно обеспечивает точность и стабильность в процессе длительной эксплуатации. В связи с этим датчик магнитооптического стекла постепенно стали заменять датчиком FOCT.

Третий этап заключается в разработке и применении оптического измерительного трансформатора напряжения (OVT). Сегодня это изделие, после стадий исследований и разработки, на некоторых китайских предприятиях уже находится на испытании.

Объединяющее устройство является ключевым устройством как интерфейс соединения между цифровыми измерительными трансформаторами и вторичными устройствами и предназначается для объединения, синхронизации данных и распределения сигналов. Все интеллектуальные вторичные оборудование могут получить сигналы тока и напряжения от объединяющего устройства. Передача между объединяющими устройствами и уровнем ячейки выполняется в соответствии со стандартным протоколом. На первом этапе развития цифровых подстанций в Китае использовался стандарт IEC 60044-8 – этот стандарт характеризуется высокой надежностью, но не поддерживает ультра-расширение и трудно выполняет взаимодействие. Поэтому через 2 года этот стандарт стал постепенно выводиться из эксплуатации. Стандарт IEC 61850-9-1 также использовался короткий период времени, а теперь повсеместно применяется стандарт IEC 61850-9-2. Раньше ис-

пользовалась связь по сети, а в настоящее время может выполняться передача в режиме «точка-точка». Передача данных на уровне процесса теперь одновременно применяется режим «точка-точка» и Ethernet-сеть. Китайская государственная сетевая компания указывает, что между объединяющим устройством и устройством РЗА должен применяться режим «точка-точка», чтобы функции защиты не зависели от состояния коммутатора. Устройство измерения, счетчики и регистраторы должны получить данные тока и напряжения от SV-сети.

**Интеллектуальный терминал и техника GOOSE-сообщений**



Рис. 7. Шкаф с интеллектуальным терминалом на подстанции Jin guiyuan (Китай)



**Сюй Лэй**

Дата рождения: 17.04.1976 г.  
В 2001 г. получил степень магистра в Юго-восточном политехническом университете (Китай) по специальности «Электрические сети и системы». Начальник отдела интеллектуального оборудования компании NR Electric Co., LTD. (Китай).



**Дун Сюэпэн**

Дата рождения: 15.07.1978 г.  
В 2004 г. получил степень магистра по электротехнике в Научно-техническом университете Харбина (Китай). Инженер компании NR Electric Co., LTD. (Китай).

Работы по исследованию и разработке интеллектуального первичного оборудования начались относительно недавно, и может только выполняться конфигурация «первичное оборудование+интеллектуальный компонент+компонент мониторинга». Чтобы осуществлять интеллектуальное управление первичным оборудованием, необходимо согласовать состояние техники первичного и вторичного оборудования на основе тесного сотрудничества производителей первичного оборудования и вторичного оборудования.

Интеллектуальный терминал управления подключается к первичному оборудованию с помощью медных кабелей, а соединяется с устройством РЗА и другими вторичными устройствами с использованием оптических кабелей. Интеллектуальный терминал представляет собой переходный продукт интеллектуальных выключателей и иного оборудования. Он может обеспечить GOOSE-интерфейс, производить сбор информации о положениях выключателя, разъединителя, заземляющего ножа и других видов оборудования, выполнять включение и отключение выключателя, разъединителя, заземляющего ножа и прочего оборудования.

GOOSE-сеть поддерживает обмен следующими данными в реальном времени:

- Сигналы на отключение и включение устройств РЗА.
- Дистанционная команда управления.
- Информация между устройствами РЗА (пуск УРОВ, запрет АПВ, телеотключение и т.д.).
- Дистанционные сигналы (положение выключателя, сигнал давления и т.д.).

**Способ создания сетей**

Сетевая структура уровня станции ЦПС разработана в соответствии с принципом «3 уровня 2 сети»: на всей ПС установлена единая сеть уровня станции (MMS-сети), применяется соединение «звезда-звезда», сеть эксплуатируется в режиме двойной сети и дуплексного резервирования. Все устройства уровня станции и уровня ячейки на ПС подключаются к двойной звездной MMS-сети уровня станции с помощью 100M Ethernet-порта.

Передача выборочных значений уровня процесса выполняется методом передачи «точка-точка» или методом создания сети выборочных значений (SV-сети). Протоколы

IEC 61850-9-1 и IEC60044-7/8 были почти полностью отменены. Протокол IEC61850-9-2 станет единственным стандартом передачи выборочных значений. GOOSE-сеть уровня процесса выполняется методом передачи «точка-точка» или методом создания сети. GOOSE-сеть и SV-сеть могут быть объединены. В реальном проекте уже использована объединенная сеть из 3-х сетей: GOOSE-сеть, SV-сеть, сеть для синхронизации времени.

**Способы синхронизации времени**

В настоящее время синхронизация времени обычно выполняется методами SNTP, IRIG-B, IEEE1588. Синхронизация времени SNTP применяет передачу через Ethernet-сеть с точностью миллисекунды и предназначается для синхронизации времени уровня станции. Синхронизация времени IRIG-B представляет собой более современную технику и широко используется в синхронизации сети уровня процесса, а также является основной техникой синхронизации времени в Китае.

Точность синхронизации времени IEEE1588 может достичь субмикросекундных значений, благодаря чему может выполнять синхронизацию времени с помощью сети уровня процесса, не требует создания специальной сети для синхронизации времени и уже теперь используется на некоторых ПС Китая. Следует иметь в виду, что техника IEEE1588 синхронизации времени требует аппаратной совместности устройств РЗА, коммутатора, объединяющего устройства и других взаимодействующих между собой интеллектуальных устройств.

**Вывод и перспективы**

Интеллектуальная электрическая сеть представляет собой перспективное направление развития электроэнергетики, а ЦПС является важной частью этой интеллектуальной электрической сети. В настоящей статье были проанализированы и обобщены процесс развития цифровых подстанций и применение технологий в Китае.

Цифровая подстанция ориентирована на будущее, адаптирована к созданию интеллектуальной электрической сети, будет постепенно развиваться в соответствии с прогрессом техники и практическим распространением интеллектуальной сети. ☞