

# Тестирование систем на основе стандарта МЭК 61850 – последние достижения и новые возможности

**В данной статье вы найдете ответы на следующие вопросы:**

- Каким образом можно оценить время обработки устройством GOOSE-сообщения?
- Какие изменения, касающиеся вопросов тестирования, будут внесены во втором издании стандарта?

## Автор

Томас Шосиг

**М**ЭК 61850 [1] – стандарт для систем связи внутри подстанций – является гибким и уверенно смотрящим в будущее для систем автоматизации подстанций и систем защиты. Стандарт получил широкое распространение по всему миру и применяется на объектах различного уровня напряжения, а специалисты приобретают все больше опыта по работе с системами на его основе. Хотя сам стандарт подробным образом и не сосредотачивается на вопросах тестирования, некоторые положения, касающиеся вопросов соответствия устройств его требованиям и измерения параметров функционирования систем, нашли в нем свое отражение. В настоящей статье более подробным образом рассматриваются вопросы тестирования систем на базе стандарта МЭК 61850. Также будут рассмотрены новые возможности, которые станут доступными с выходом второго издания стандарта, а в завершение материала будет уделено внимание вопросам информационной загрузки в сети и быстродействия передачи данных.

### ПОЛОЖЕНИЯ ПО ТЕСТИРОВАНИЮ, ОТРАЖЕННЫЕ В СТАНДАРТЕ

Как было отмечено автором в предыдущей статье [2], стандарт описывает две основные процедуры тестирования.

Одна из глав стандарта – глава 10 [3] – описывает процедуру тестирования устройств на соответствие его требованиям для присвоения им статуса «с поддержкой стандарта МЭК 61850». В главе определены

методы тестирования, которые предоставляют возможность убедиться в том, что устройства соответствуют требованиям, регламентируемым стандартом. Однако эти методы не предназначены для применения при выполнении испытаний на объекте на этапе ввода в эксплуатацию или в ходе технического обслуживания. Интеллектуальное электронное устройство (ИЭУ (IED)) не должно противоречить требованиям стандарта. Указанное является основой, призванной обеспечить функциональную совместимость устройств различных производителей между собой, но данное условие не является достаточным. Все описываемые в статье устройства будем считать удовлетворяющими требованиям стандарта МЭК 61850.

Другая процедура тестирования направлена на определение того, соответствуют ли те или иные параметры функционирования систем на основе стандарта МЭК 61850 требуемым. Требования к параметрам функционирования систем обозначены в главе 5 [4]. В данной главе [4] введены термины «полное время передачи» и «класс производительности», даны пояснения к ним [2]. В стандарте приводится иллюстрация, поясняющая термин полного времени передачи данных ([4] и [2]); обратимся к ней в очередной раз (рис. 1).

### «БИТ ТЕСТИРОВАНИЯ»

Как было обозначено в материале [2], стандарт МЭК 61850 в главе 7–4 [5] описывает дополнительный качественный идентификатор, который может быть использован для отличия сигналов, используемых

для целей тестирования, от сигналов, соответствующих действительным режимам. Некоторые пользователи считают, что при использовании простого «флага тестирования» или «бита тестирования» разрешаются все проблемы, связанные с тестированием систем на базе стандарта МЭК 61850. К сожалению, это невозможно при эксплуатации существующих ИЭУ (IED): устройства различных производителей обладают своими особенностями, что не позволяет обеспечить функциональной совместимости.

Каждый логический узел содержит в себе атрибут «Mod» (режим), который может иметь значение «Test» (тестирование). В таком случае логический узел и весь его функционал переводятся в режим тестирования. Атрибут «Beh» (поведение) отражает поведение логического узла. Если производится изменение режима логического узла 0 (LLNO), также производится изменение режима логических узлов устройств.

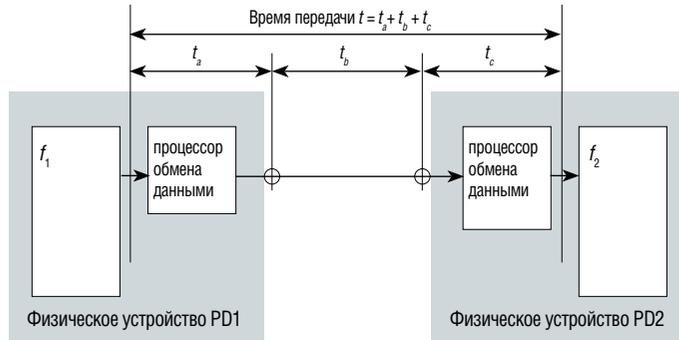
Отдельные объекты данных содержат в ряде своих качественных атрибутов отдельный бит тестирования, значение которого также может изменяться.

Очевидно, что ситуация усложняется в связи с наличием различных комбинаций значений «test» и «blocked». Насколько известно автору, в настоящее время отсутствуют устройства с реализацией комбинаций согласно рис. 2. Второе издание стандарта (см. раздел «Второе издание стандарта» данного материала) будет включать в себя более подробное описание вопросов использования указанных атрибутов.

При реализации обмена данными в режиме реального времени (реализация «шины процесса») желательно использование «флага тестирования» на уровне пакетов данных. Представляется возможным использование для этой цели флага тестирования GOOSE-сообщения [2]. В этом случае GOOSE-сообщения не должны быть использованы для рабочих целей [6]. Данный флаг тестирования сегодня используется достаточно редко. В этой части второе издание стандарта предоставит новые возможности пользователям.

**ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВ**

Как было отмечено в разделе «Положения по тестированию, отраженные в стандарте» вопросы оценки быстродействия систем рассматриваются в главе 5 [4] стандарта.



**Рис. 1.** Полное время передачи сообщений

LNMode XXX.Mod	LDMode LLNO.Mod	LNBeh (read only) XXX.Beh	LNBeh Value
on	on	on	1
on	blocked	blocked	2
on	test	test	3
on	test-blocked	test-blocked	4
on	off	off	5
blocked	on	blocked	2
blocked	blocked	blocked	2
blocked	test	test-blocked	4
blocked	test-blocked	test-blocked	4
blocked	off	off	5
test	on	test	3
test	blocked	test-blocked	4
test	test	test	3
test	test-blocked	test-blocked	4
test	off	off	5
test-blocked	on	test-blocked	4
test-blocked	blocked	test-blocked	4
test-blocked	test	test-blocked	4
test-blocked	test-blocked	test-blocked	4
test-blocked	off	off	5
off	on	off	5
off	blocked	off	5
off	test	off	5
off	test-blocked	off	5
off	off	off	5

**Рис. 2.** Атрибуты Mode (режим)/Behavior (поведение) в стандарте МЭК 61850-7-4, издание 1 [5]

Для тестирования быстродействия одного ИЭУ (IED) необходимо иметь установку, схема которой представлена на рис. 3.

Для тестирования быстродействия специалист в той или иной степени вынужден производить косвенные измерения [5]. При этом могут быть сформулированы некоторые рекомендации для выполнения более точной оценки быстродействия устройства. Основная идея заключается в измерении периода кругового обращения GOOSE-сообщения. Передача GOOSE-сообщения осуществляется от испытательной установки проверяемому устройству, которое, в свою очередь, осуществляет его передачу назад испы-



**Рис. 3.** Идеальная схема установки с выделенными линиями связи

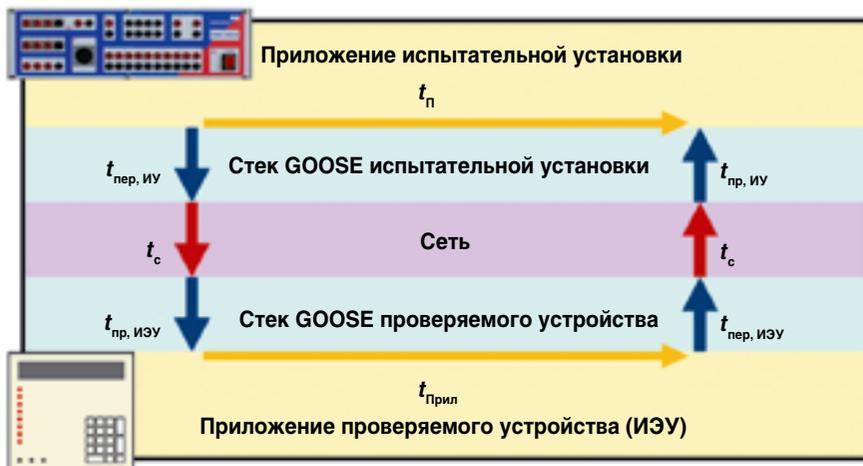


Рис. 4. Составляющие периода кругового обращения GOOSE-сообщения [5]

## Оценка быстродействия передачи GOOSE-сообщения

Среднее значение  $\bar{t}$  и стандартное отклонение  $\sigma$

Вычисление времени обработки сообщения проверяемым устройством (ИЭУ):

$$\bar{t}_{\text{ИЭУ}} = \frac{\bar{t}_{\text{п}}}{2} - \bar{t}_{\text{ИУ}}, \quad \sigma_{\text{ИЭУ}} = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{п}}^2}{2} - \sigma_{\text{ИУ}}^2}$$

Калибровка испытательной установки:

$$\bar{t}_{\text{ИУ}} = \frac{\bar{t}_{\text{п}}}{4}, \quad \sigma_{\text{ИУ}} = \frac{\sigma_{\text{п}}}{2}$$

Доверительный интервал:  $[\bar{t} - k \cdot \sigma, \bar{t} + k \cdot \sigma]$

$k \approx 4$  при доверительной вероятности 99,99%

$k \approx 2,6$  при доверительной вероятности 99%

Максимальное значение:  $\bar{t} + k \cdot \sigma$

Рис. 5. Оценка быстродействия передачи GOOSE-сообщения [5]

тательной установке как можно быстрее. На рис. 4 представлена иллюстрация, на которой показаны составляющие периода кругового обращения GOOSE-сообщения, измеряемого испытательной установкой.

При использовании данного метода должно быть принято несколько допущений:

- Время передачи данных по сети пренебрежимо мало. Это условие выполнимо в большинстве случаев путем обеспечения простого соединения между испытательной установкой и проверяемым устройством (см. рис. 3). В линии связи допустимо нали-

чие максимум одного Ethernet-коммутатора. Для получения более подробной информации см. раздел «Информационная нагрузка по сети» данного материала.

- Время обработки данных соответствующим приложением в проверяемом устройстве пренебрежимо мало. Указанное справедливо для большинства случаев. Если данным временем пренебречь не представляется возможным, то будет иметь место положительная погрешность и период кругового обращения GOOSE-сообщения окажется больше.

- Времена обработки GOOSE-сообщений при их приеме и передаче приблизительно равны. Проверку указанного условия необходимо производить от случая к случаю. Если предполагается наличие значительной несимметрии, тогда необходимо выполнение корректировки формул и, соответственно, получение результата для суммы времен обработки сообщения при приеме и передаче.

В ходе испытаний на соответствие требованиям стандарта, определенным в главе 10 [3], при использовании статистических методов требуется оценка результатов, по крайней мере, 1000 измерений. Указанное предполагает, что измеренные значения подчиняются нормальному распределению. Статистическая оценка достаточного числа результатов измерения периодов кругового обращения позволяет получить среднее значение и среднеквадратическое отклонение периода кругового обращения, которые определяются характеристиками проверяемого устройства и испытательной установки (рис. 5). Для вычисления времени обработки сообщения проверяемым устройством необходимо наличие данных о характеристиках испытательной установки. Получение этих данных возможно при включении в представленную выше схему (рис. 3) идентичной испытательной установки вместо проверяемого устройства и выполнении того же опыта с круговым обращением GOOSE-сообщения.

При использовании быстродействующих испытательных установок, обладающих возможностью автоматической регистрации сценариев испытаний, могут быть получены значения менее 1 мс с доверительной вероятностью 99,99%. Таким образом, теоретически лишь одно из десяти тысяч значений превысит 1 мс. В последовательности из 250000 последовательных измерений не одно из значений не превысило максимальное при доверительной вероятности 99%. Таким образом, при нормальном распределении имели бы место тысячи выбросов. Фактическое распределение, в отличие от нормального, характеризуется концентрацией значений вокруг среднего, имея максимальный предел и без стремления значений в бесконечность.

## ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ (ИНТЕРОПЕРАБИЛЬНОСТЬ)

Согласно первой главе стандарта [1], обеспечение функциональной совместимости устройств между собой (интероперабельности) (не взаимозаменяемости устройств!)



## Новый взгляд на тестирование средств защиты

Новые комплекты OMICRON для испытания средств защиты предназначены для тестирования широчайшего диапазона реле, от старых электромеханических моделей до новейших интеллектуальных электронных устройств (IED), поддерживающих протокол IEC 61850, и других типов вспомогательного оборудования.

Независимо от того, какое устройство необходимо протестировать, компания OMICRON всегда придет вам на помощь.

Устройство **CMC 256plus** является идеальным выбором для тестирования реле, измерительных приборов, преобразователей и приборов для измерения качества электроэнергии, точность работы которых исключительно важна.

Устройство **CMC 356** – универсальный инструмент для ввода в эксплуатацию и обслуживания подстанций, способный протестировать любое реле, независимо от его года выпуска.

Доверьтесь компании OMICRON, как это уже сделали наши клиенты в более чем 130 странах!

Для получения дополнительной информации обращайтесь к «ЭКРА», нашему торговому партнеру в России.

[www.omicron.at](http://www.omicron.at)

Мировой лидер  
в области инновационных  
решений для тестирования  
энергосистем



# ЭКРА

## OMICRON



## ПРАКТИКА

является основной целью стандарта МЭК 61850. Здесь необходимым условием является то, что устройства должны удовлетворять требованиям стандарта. Однако это условие не является достаточным.

Как показали первые проекты, где в системах автоматизации использовались устройства с поддержкой стандарта МЭК 61850 различных производителей [8], функциональная совместимость устройств и инжиниринг таких систем являются реальностью. Тем не менее, не обошлось и без технических сложностей (так называемых «Tissues» [9]), которые будут разрешены во втором издании стандарта. На данный момент времени испытания на функциональную совместимость не определяются стандартом. Множество возможных вариантов проведения таких испытаний обуславливает необходимость их типизации. Такие организации, как FGH [10], KEMA и UCA IUG (более подробная информация об этой организации приведена в следующей главе данной статьи), работают над рекомендациями по выполнению данных испытаний.

### РАБОТА ГРУППЫ UCA

Международная группа пользователей UCA (группа пользователей стандарта МЭК 61850) и, в частности, ее комитет, занимающийся вопросами тестирования [11], ответственен за выработку рекомендаций по тестированию и проведению приемосдаточных испытаний систем. Первоначальной задачей является разработка единого подхода к тестированию, взаимодействие с МЭК в части подготовки стандарта МЭК 61850-10 и других стандартов.

Главной целью на будущее является разработка указаний по выполнению процедур тестирования на функциональную совместимость применительно к стандарту МЭК 61850 и другим стандартам, а также публикация рекомендаций по выполнению процедур тестирования систем на быстроедействие.

### СИНХРОНИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ [12]

Ранее использовавшиеся протоколы на подстанциях использовали синхронизацию времени для присвоения меток времени, что было необходимо в SCADA-системах. Были допустимы погрешности в диапазоне миллисекунд. Стандарт МЭК 61850 для этих целей определяет протокол NTP (Network Time Protocol). При этом возможными погрешностями около 10 мс. При использовании устройств организации шины процесса для передачи мгновенных значений, требования могут быть более жесткими при

необходимости синхронизации значений от ряда таких устройств (реализация систем дифференциальной защиты). Руководящие указания («9-2LE» [13]) определяют допустимую погрешность синхронизации по времени равную  $\pm 4$  мкс. Синхронизация выполняется при помощи сигналов PPS (импульсы за секунду), что требует наличия дополнительного опорного сигнала.

Большие надежды возлагаются на новый протокол – Precision Time Protocol (PTP) стандарту (IEEE 1588 [14]). При его использовании будет обеспечена точность синхронизации всего в диапазоне нескольких микросекунд. Применение стандарта IEEE 1588 будет являться типовым решением; технология тестирования должна поддерживать протокол синхронизации времени через UDP/IP по информационной сети на подстанции.

### ИНФОРМАЦИОННАЯ ЗАГРУЗКА ПО СЕТИ

Идеальная схема, используемая для оценки характеристик функционирования цифрового устройства, отличается от той, которая характерна для реальной подстанции. Поскольку различные цифровые устройства с коммуникациями типа клиент/сервер и в режиме реального времени (мгновенные значения и GOOSE-сообщения) могут сосуществовать в одной сети, необходимо производить учет информационной загрузки по сети. В материале [12] обозначены результаты проведенных измерений и обозначены следующие выводы:

- Коммуникации клиент/сервер оказывают незначительное влияние на информационную загрузку по сети в связи с тем, что осуществляется передача данных одному адресату и отсутствуют требования к передаче данных в режиме реального времени. В случае возникновения возмущений в системе число передаваемых данных увеличивается и, при учете передачи осциллограмм повреждений, загрузка по сети может быть значительной.

- Передача GOOSE-сообщений является многоадресной и осуществляется через определенные интервалы времени. В случае изменения значений данных интервал передачи сообщения уменьшается. Даже в условиях большого числа передаваемых GOOSE-сообщений и ограниченной пропускной способности, правильно сконфигурированные Ethernet-коммутаторы с поддержкой тегов приоритетности передачи данных, проблем представляется возможным избежать.

- Передача мгновенных значений значительным образом повышает информационную загрузку по сети. При частоте дискретизации для целей функции защиты, регламентируемой указаниями «9-2LE» (80 выборка за период), в худшем случае (при частоте 60 Гц) информационная загрузка по сети будет составлять 4800 пакетов в секунду. Для передачи одного потока мгновенных значений необходимо наличие пропускной способности в 6,3 Мбит/с; общая максимальная пропускная способность сети 100 Мбит/с будет составлять 15 потоков. Мгновенные значения являются причиной значительной информационной загрузки, и требуется квалифицированный инжиниринг сетей, устройства и испытательные установки с хорошими характеристиками.

Тем не менее, оценка возможной информационной загрузки по сети является частью процесса проектирования систем автоматизации подстанции, а также частью приемосдаточных испытаний на объекте.

### ВТОРОЕ ИЗДАНИЕ СТАНДАРТА

Второе издание стандарта МЭК 61850 в настоящее время обсуждается специалистами и запланировано к публикации в 2010 году. Оно призвано разрешить ошибки и неопределенности, выявленные в ходе работы с первым изданием стандарта («зеленые» технические проблемы «Tissues» [9]).

Приобретая новое название – «Сети и системы связи для автоматизации в электроэнергетике» – стандарт находит свое применение не только на подстанциях. Главы, описывающие логические узлы для объектов малой генерации, возможности межобъектовой связи и содержание указания по использованию возможностей стандарта для автоматизации подстанций будут доступны в структуре нового издания. В связи с тем, что в данной статье охватить все нововведения не представляется возможным, приведем описание двух особенностей, связанных с тестированием систем.

Как уже было упомянуто ранее, во втором издании стандарта, более подробным образом будут рассмотрены вопросы использования атрибутов Mode (режим)/Behavior (поведение) [15]. Для них 5 состояний останутся теми же самыми:

- ON (Введен);
- ON (Blocked) (Введен (Заблокирован));
- Test (Для целей тестирования);
- Test (Blocked) (Для целей тестирования (Заблокирован));
- OFF (Выведен),

но в приложении А стандарта будет подробным образом описано, что делать в том или ином режиме:

- выдача дискретной информации;
- реакция на поступающие команды управления;
- как обрабатывать поступающие данные различного качества (такие как «test», «blocked»...)

Для обеспечения возможности обнаружения эмулируемых данных в Ethernet-фрейм был введен «бит эмуляции» («S») [16] [17]. При установленном значении этого бита идентифицируется факт того, что GOOSE-сообщение или мгновенные значения были переданы от испытательной установки, а не от устройства-отправителя, обозначенного в файле конфигурации устройства. □

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IEC 61850-1:2003 Communication Networks and Systems in Substations; Introduction and Overview
2. Шоссиг Т. МЭК 61850: влияние на тестирование систем защиты. «Релейщик», № 1, 2009, с. 54–58.
3. IEC 61850-10:2005 Communication Networks and Systems in Substations; Conformance Testing.
4. IEC 61850-5:2003 Communication Networks and Systems in Substations; Communication requirements for functions and device models
5. IEC 61850-7-4:2003 Communication Networks and Systems in Substations; Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment – Compatible Logical Nodes Classes Introduction and Overview
6. IEC 61850-7-2:2003 Communication Networks and Systems in Substations; Basic communication structure for substation and feeder equipment – Abstract communication service interface (ACSI)
7. Bastigkeit, Schossig, Steinhauser: Efficient Testing of Modern protection IEDs. In: PACWorld 3(2009) Winter, p. 54–59
8. Holbach, Rodriguez, Wester, Baigent, Frisk, Kunsman, Hossenlop: First IEC 61850 Multivendor Project in the USA. PACWorld 1(2007) Autumn, c. 51–58
9. <http://tissue.iec61850.com/default.msp>
10. [http://www.fgh.rwth-aachen.de/verein/projekte/Announcement\\_IEC61850\\_InterOP.pdf](http://www.fgh.rwth-aachen.de/verein/projekte/Announcement_IEC61850_InterOP.pdf)
11. <http://www.ucaiug.org/aboutUCAlug/Lists/Org%20Chart%20Descriptions1/DispForm.aspx?ID=16>
12. Schossig, Steinhauser: Coexistence of SCADA-Communication and Process-Level Real-Time Communication in Substation Networks. ETG Kongress Schaltanlagen und Netze 2007
13. UCA: Implementation Guideline For Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2
14. IEEE 1588:2008 IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems.
15. IEC 61850-7-4 Ed.2 :2008 (CDV) Communication Networks and Systems for Power Utility Automation; Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment- Compatible Logical Nodes Classes Introduction and Overview
16. IEC 61850-8-1 Ed. 2: 2009 (CDV) Communication Networks and Systems for Power Utility Automation. Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3
17. IEC 61850-9-2 Ed. 2: 2009 (CDV) Communication Networks and Systems for Power Utility Automation. Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3

  
**КомплектЭнерго**  
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

## КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ для объектов энергетики

За 3 года своего существования ООО «КомплектЭнерго» оснастило электротехническим оборудованием десятки объектов принадлежащих ОАО «ФСК ЕЭС»; ОАО «РУСГИДРО»; ОГК; ТГК; ЗАО «ИНТЕР РАО ЕЭС» РАО «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВОСТОКА»; Холдингу МРСК.



[www.k-energo.com](http://www.k-energo.com)

### МЫ ОСУЩЕСТВЛЯЕМ ПОСТАВКУ И ВНЕДРЕНИЕ СЛЕДУЮЩЕЙ ПРОДУКЦИИ:

автоматизированных систем управления (АСУ ТП) | аппаратуры релейной защиты и автоматики 6-35, 110-220, 330-750 кВ  
низковольтных нетиповых комплектных устройств | систем противоаварийной автоматики | систем и средств связи на объекте  
диагностического и испытательного оборудования | устройств плавного пуска высоковольтных электродвигателей

Россия, 428003, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 3  
e-mail: [info@k-energo.com](mailto:info@k-energo.com)

тел.: (8352) | 57-40-65 | 57-40-85 | 57-40-90 | 22-00-20 |  
факс: (8352) | 62-76-40 |