

Авторы:

Громов И.В.,
Егоров Е.П.,
Кошельков И.А.,
ООО НПП «ЭКРА»,
г. Чебоксары, Россия.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОЛОЖЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ РЕДАКЦИЙ СТАНДАРТА IEC 61850 ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОТОКОЛОВ GOOSE И SV

Аннотация: приведены некоторые результаты сравнительного анализа положений различных редакций стандарта IEC 61850, в ходе которого были выявлены изменения, затрагивающие использование протоколов передачи данных GOOSE и SV, которые описаны, соответственно, в главах 8-1 и 9-2.

Ключевые слова: цифровая подстанция, IEC 61850, интеллектуальные электронные устройства.



Громов
Игорь Викторович

Год рождения: 1994.

В 2019 году окончил кафедру электрических и электронных аппаратов факультета энергетики и электротехники ЧГУ им. И.Н. Ульянова. Магистр техники и технологии по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии».

Инженер 3 категории группы сопровождения проектов сектора ЦПС отдела разработки подстанционного оборудования ООО НПП «ЭКРА».

В декабре 2018 года Советом директоров ПАО «Россети» утверждена Концепция «Цифровая трансформация 2030». В качестве одной из приоритетных технологий выбрана «Цифровая подстанция» - различные архитектуры построения цепей защит и автоматики с применением протоколов стандарта IEC 61850 [1]. В конце первого квартала 2019 года введен СТО «Цифровой питающий центр. Требования к технологическому проектированию цифровых подстанций напряжением 110-220 кВ и узловых цифровых подстанций напряжением 35 кВ», в котором описаны требования, в том числе и к системам РЗА и АСУ ТП, работающим с применением протоколов стандарта IEC 61850 [2].

С момента публикации первой редакции стандарта IEC 61850 некоторые аспекты передачи информации на цифровых подстанциях (ЦПС) были пересмотрены и скорректированы. В частности, изменения затронули протокол передачи данных о событиях на ПС – GOOSE (Generic Object-Oriented Substation Event) и протокол передачи оцифрованных мгновенных значений аналоговых величин – SV (Sampled Values), описанные в главах 8-1 и 9-2 стандарта соответственно [3, 4]. Введение всех поправок повлекло за собой появление второй редакции IEC 61850. Именно в соответствии со второй редакцией рекомендуется организация работы интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) на ЦПС [2].

Во второй редакции главы 8-1 были проведены значимые корректировки в отношении наполнения Ethernet-кадра GOOSE-сообщения [5]. Например, согласно

предыдущей редакции протокола Ethernet-кадр (рис. 1) содержит в себе флаг Test, дублирующий значение одноименного атрибута в структуре типа данных Quality. Этим параметрам присваивается значение True, например в том случае, если устройство-источник выходных данных находится в режиме тестирования. Во второй редакции упомянутый флаг был заменен флагом Simulation, который дублирует назначение старшего бита в поле Reserved 1, представляя его в более наглядном виде. Данный флаг, установленный в значение True, означает, что это GOOSE-сообщение является имитированным, т.е. его источником выступает какая-либо испытательная установка

```

WireShark
├── GOOSE
│   ├── APPID: 0x0001 (1)
│   ├── Length: 114
│   ├── Reserved 1: 0x8000 (32768) ← Бит симуляции
│   └── Reserved 2: 0x0000 (0)
│       ├── goosePdu
│       │   ├── gocbRef: IEDNAMELD/LLN0$GO$GSEout
│       │   ├── timeAllowedtoLive: 4800
│       │   ├── dataSet: IEDNAMELD/LLN0$GOOSEout
│       │   ├── goID: W1G_A1_RP
│       │   ├── t: Jul 7, 2019 04:20:28.658200681 UTC
│       │   ├── stNum: 1
│       │   ├── sqNum: 9
│       │   ├── test: True ← Флаг тестирования
│       │   ├── confRev: 1
│       │   ├── ndsCom: False
│       │   └── numDatSetEntries: 2
│       └── allData: 2 items
│           ├── Data: boolean (3)
│           │   └── boolean: True
│           └── Data: bit-string (4)
│               ├── Padding: 3
│               └── bit-string: 00 10 ← Бит тестирования

```

Рис. 1. Фрагмент Ethernet-кадра GOOSE-сообщения по первой редакции главы 8-1 стандарта IEC 61850 в анализаторе трафика Wireshark



Егоров Евгений Петрович
 Год рождения: 1987.
 В 2010 году окончил кафедру электрических и электронных аппаратов факультета энергетики и электротехники ЧГУ им. И.Н. Ульянова. Магистр техники и технологии по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». Руководитель группы сопровождения проектов сектора ЦПС отдела разработки подстанционного оборудования ООО НПП «ЭКРА».



Кошельков Иван Александрович
 Год рождения: 1987.
 В 2010 году окончил кафедру электрических и электронных аппаратов факультета энергетики и электротехники ЧГУ им. И.Н. Ульянова. Магистр техники и технологии по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». Заведующий сектором ЦПС отдела разработки подстанционного оборудования ООО НПП «ЭКРА».

(Omicron, PETOM), а не реальное ИЭУ, описанное в SCD-файле – общем файле конфигурации подстанции.

В соответствии же с редакцией 2.0 о состоянии режима тестирования в Ethernet-кадре GOOSE-сообщении информирует только значение поля Test в типе данных Quality, из-за чего появляется необходимость в использовании формата передаваемых данных в виде Boolean + Quality. Поэтому на этапе проектирования следует учитывать загруженность и пропускную способность локальной вычислительной сети (ЛВС). Например, если GOOSE-сообщение содержит в себе только состояния 48 дискретных сигналов (формат Boolean), то его размер может варьироваться от 334 до 589 байт, в зависимости от размера атрибутов goCBRef, datSet, goID. В случае же добавления поля Quality к каждому дискретному сигналу размер сообщения изменяется в диапазоне от 575 до 830 байт. В таблице 1 приведены размеры Ethernet-кадров GOOSE-сообщений с различными форматами данных и количество кадров, проходящих за миллисекунду по сети Ethernet с пропускной способностью 100 Мбит/с [6].

Таблица 1. Размеры Ethernet-кадров GOOSE-сообщений с различными форматами данных

Количество дискретных сигналов в GOOSE-сообщении	Boolean		Boolean + Quality	
	размер, байт	количество Ethernet-кадров/мс	размер, байт	количество Ethernet-кадров/мс
1	191	65	196	63
16	236	52	318	39
32	284	44	447	27
48	334	37	575	21
64	382	32	703	17

В актуальной редакции появилось подробное описание правил кодирования атрибутов в блоке данных APDU (Application Protocol Data Unit) в Ethernet-кадре GOOSE-сообщения в виде триплетов TLV, согласно правилам кодирования BER (Basic Encoding Rules) стандарта ASN.1 [7]. В состав каждого триплета TLV входят 3 поля: T – идентификатор (type/tag, тип передаваемых данных), L – длина (length, размер передаваемых данных) и V – данные (value, передаваемые данные). На рис. 2, в качестве примера, приведен атрибут «Test», закодированный в виде триплета TLV.

Значения некоторых параметров блока APDU в составе GOOSE-сообщения меняются с течением времени, что может привести к изменению размера Ethernet-кадра GOOSE-сообщения. Для оптимизации процесса кодирования и декодирования и, как следствие, для сокращения времени, затрачиваемого на эти процессы, была добавлена возможность использования фиксированной длины атрибутов GOOSE-сообщения. Это означает, что, независимо от пересылаемых значений, для каждого поля будет зарезервировано определенное количество байт. В таблице 2 показан пример передачи определенных значений с использованием различных типов данных.

Таблица 2. Пример BER кодирования и фиксированной длины атрибутов при передаче данных различных типов

Тип данных	Передаваемое значение	BER		Fixed size	
		Length	Value	Length	Value
INT8	1	01	01	02	00 01
INT8U	255	02	00 FF	02	00 FF
INT16	127	01	7F	03	00 00 7F
INT32	1	01	01	05	00 00 00 00 01
INT32	32767	02	7F FF	05	00 00 00 FF FF

При построении ЦПС протокол передачи GOOSE используется в основном для обмена дискретными данными между устройствами. Для получения ИЭУ аналоговых величин используется протокол Sampled Values. Изменения, касающиеся протокола SV, по второй редакции главы 9-2 затрагивают атрибут SmpSynch, характеризующий синхронизацию по времени [8]. Согласно первой редакции стандарта этот атрибут имеет логический тип данных Boolean и может принимать два состояния: True или False. Значение True указывает на наличие синхронизации по времени в SV-потоке, а False – на ее отсутствие. Во второй редакции тип данных атрибута SmpSynch был изменен на целочисленный INT8U, что позволило расширить диапазон его возможных значений

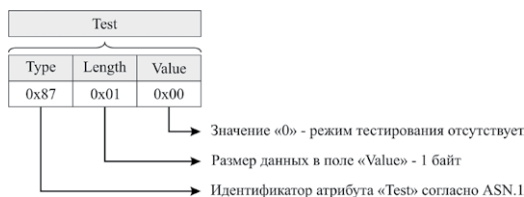


Рис.2. Структура триплета TLV на примере атрибута Test



до 256 [9]. Возможные значения атрибута SmpSynch приведены в табл. 3.

Таблица 3. Возможные значения атрибута SmpSynch

Редакция	Тип данных	Значения	Комментарий
Редакция 1.0	Boolean	False	Отсутствие синхронизации
		True	Наличие синхронизации
Редакция 2.0	INT8U	0	Отсутствие синхронизации
		1	Наличие локальной синхронизации
		2	Наличие глобальной синхронизации
		5-254	Идентификатор локального источника синхронизации
		3, 4, 255	Значение не используется

Основными требованиями к устройствам РЗА являются: надежность, селективность, чувствительность и быстродействие. Применение протоколов стандарта IEC 61850 при построении системы РЗА не оказывает существенного влияния на такие характеристики как: селективность, чувствительность и быстродействие. Для оценки надежности системы РЗА нужно понимать, что к основным точкам отказа микропроцессорных (МП) устройств защит (выход из строя самого устройства, неисправность внешних связей, неверно выбранные уставки) добавляются возможность отказа системы обеспечения единого времени (СОЕВ) и выход из строя коммуникационного оборудования. Для уменьшения вероятности отказа целесообразно осуществлять аппа-

ратное дублирование и резервирование коммуникационного оборудования.

Использование резервирования при передаче GOOSE-сообщений и SV-потоков описано во второй редакции стандарта. Предлагается использование одного из двух протоколов «бесшовного» резервирования: HSR (High-availability Seamless Redundancy) или PRP (Parallel Redundancy Protocol) [10]. Таким образом, для соответствия второй редакции аппараты РЗА оснащаются встроенными RedBox (Redundancy Box), при этом Ethernet-порты разделяются на сеть А и сеть В.

Немаловажным является вопрос работы устройств РЗА в различных режимах, например, при проведении профилактического контроля. Концепция испытаний ЦПС не предполагает физической изоляции тестируемого устройства, что, в ряде случаев, может привести к излишним воздействиям на коммутационное оборудование. В первой редакции стандарта сказано, что логическое устройство может работать в одном из режимов: On, On-blocked, Test, Test/blocked и Off, однако отсутствует четкое описание поведения устройства в том или ином режиме, что позволяло изготовителям МП-устройств реализовывать режимы работы так, как они это понимают, и значительно усложняло взаимодействие ИЭУ различных производителей [11]. Этот недочет был устранен во второй редакции, в которую была включена поясняющая таблица А.2 «Definition of mode and behaviour» (табл. 4) [12].

При получении информационного потока ИЭУ проверяет значения атрибутов в типе данных Quality этого потока на наличие в нем ошибок и метки тестирования. Исходя из этой проверки, поведение устройства

Таблица 4. Поведение ИЭУ в различных режимах работы, согласно редакции 2.0

	Режим работы Mode/Behavior				
	On	On-blocked	Test	Test/blocked	Off
Работоспособность функции, представленной логическим узлом	Да	Да	Да	Да	Нет
Формирование воздействий через соответствующие выходные реле	Да	Нет	Да	Нет	Нет
Обработка данных с аналоговых входов измерения и дискретных входов	Данные обрабатываются	Данные обрабатываются	Данные обрабатываются	Данные обрабатываются	Данные не обрабатываются
Передача объектов данных	Соответствующие значения данных и бита качества q	Соответствующие значения данных с битом качества q=operatorBlocked	Соответствующие значения данных с битом качества q=test	Соответствующие значения данных с битом качества q=operatorBlocked+test	Несоответствующие значения данных с битом качества q=invalid
Обработка данных с битом качества q=normal	Данные обрабатываются как valid	Данные обрабатываются как valid	Данные обрабатываются как valid	Данные обрабатываются как valid	Данные не обрабатываются
Обработка данных с битом качества q=operatorBlocked	Данные обрабатываются как blocked	Данные обрабатываются как blocked	Данные обрабатываются как blocked	Данные обрабатываются как blocked	Данные не обрабатываются
Обработка данных с битом качества q=test	Данные обрабатываются как valid	Данные обрабатываются как invalid	Данные обрабатываются как valid	Данные обрабатываются как valid	Данные не обрабатываются
Обработка данных с битом качества q=test+operatorBlocked	Данные обрабатываются как invalid	Данные обрабатываются как invalid	Данные обрабатываются как blocked	Данные обрабатываются как blocked	Данные не обрабатываются
Обработка данных с битом качества q=invalid	Данные обрабатываются как invalid	Данные обрабатываются как invalid	Данные обрабатываются как invalid	Данные обрабатываются как invalid	Данные не обрабатываются

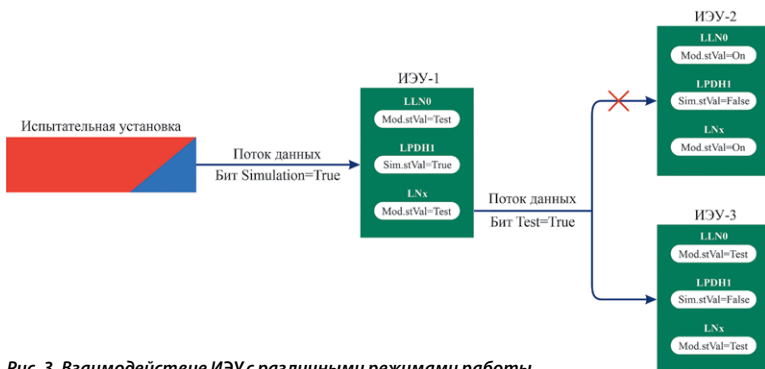


Рис. 3. Взаимодействие ИЭУ с различными режимами работы

выстраивается определенным образом в зависимости от режима, в котором оно работает. Согласно второй редакции присутствие в принимаемом сообщении бита Test со значением True не влияет на обработку этого сообщения приемником, работающим в нормальном режиме On: данные будут обрабатываться, как и в случае истинного значения бита тестирования, так и в случае ложного. Стоит обратить внимание на принципиальное отличие, появившееся в проекте редакции 2.1 этой таблицы, опубликованной в техническом отчете СИГРЭ [13]. В редакции 2.1 сказано, что обработка сигнала в аналогичных условиях будет происходить только в том случае, если атрибут Validity имеет состояние Good, а бит тестирования находится в значении False. Информационные потоки с установленным флагом Test не обрабатываются, что, безусловно, логичнее по сравнению с редакцией 2.0.

Таким образом, при проведении пусконаладочных работ (ПНР) или профилактического контроля в ходе проверки ИЭУ необходимо использовать режим симуляции в сочетании с режимом тестирования (Test или Test/blocked). Режим симуляции позволяет проверяемому устройству обрабатывать информационные потоки, содержащие в себе установленный флаг Simulation, которые публикует испытательная установка. В свою очередь, режим тестирования обеспечивает функциональную изоляцию от других ИЭУ, подключенных к той же ЛВС, работающих в штатном режиме: за счет наличия в поле Quality бита Test со значением True, исходящие информационные потоки, согласно [13], принимаются приемниками как invalid и не обрабатываются. Описанный режим работы представлен на рисунке 3.

Несмотря на темпы внедрения ЦПС, в промышленной эксплуатации сегодня находится не так много объектов. Подавляющее большинство проектов реализовано на базе оборудования одного производителя и лишь небольшой процент объектов использует в системе РЗА устройства разных компаний. ООО НПП «ЭКРА» имеет опыт как реализации ЦПС в полном объеме, так и совместно с устройствами других отечественных и зарубежных производителей. Исходя из имеющегося опы-

та, можно утверждать, что вопрос сопряжения устройств различных компаний стоит довольно остро и требует определенных усилий со стороны всех привлекаемых организаций.

Директива на применение только первой или только второй редакции стандарта IEC 61850 поможет снять часть вопросов совместимости. Однако применение решений, описанных в первой редакции стандарта, значительно уменьшает надежность системы РЗА по сравнению с решениями второй редакции. В то же время во второй редакции есть ряд спорных моментов, о которых говорилось выше, например, в части тестирования ИЭУ, что делает затруднительным и применение только второй редакции.

Очевидно, что, в отсутствии утвержденной редакции 2.1 стандарта IEC 61850, необходимо применять ряд решений из первых двух редакций исходя из практической целесообразности. Часть решений должна быть принята на этапе проектирования, оставшиеся вопросы – на этапе проведения комплексных испытаний перед отгрузкой оборудования или при наладке непосредственно на объекте.

Очевидно, что, в отсутствии утвержденной редакции 2.1 стандарта IEC 61850, необходимо применять ряд решений из первых двух редакций исходя из практической целесообразности. Часть решений должна быть принята на этапе проектирования, оставшиеся вопросы – на этапе проведения комплексных испытаний перед отгрузкой оборудования или при наладке непосредственно на объекте.

Литература

1. Концепция «Цифровая трансформация 2030». ПАО «Россети». г. Москва. 2018.
2. СТО 34.01-21-004-2019 «Цифровой питающий центр. Требования к технологическому проектированию цифровых подстанций напряжением 110-220 кВ и узловых цифровых подстанций напряжением 35 кВ». ПАО «Россети». 2019.
3. IEC 61850-8-1: Communication networks and systems in substations- Part 8-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3 – First edition.
4. IEC 61850-9-2: Communication networks and systems in substations- Part 9-2: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3 – First edition.
5. IEC 61850-8-1: Communication networks and systems for power utility automation – Part 8-1: Specific communication service mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3 – Edition 2.0.
6. Безденежных М.Н., Егоров Е.П., Кошельков И.А., Дони Н.А. Анализ сетевой нагрузки GOOSE по МЭК 61850-8-1:2011 // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2019. – № 8. – С. 22-25.
7. ISO/IEC 8825-1: Information technology – ASN.1 encoding rules: Specification of Basic Encoding Rules (BER), Canonical Encoding Rules (CER) and Distinguished Encoding Rules (DER).
8. IEC 61850-9-2: Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-2: Specific communication service mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3 – Edition 2.0.
9. IEC 61850-7-2: Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-2: Basic information and communication structure – Abstract communication service interface (ASCII) – Edition 2.0.
10. IEC 62439-3: Industrial communication networks – High availability automation networks – Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR) – Edition 3.0.
11. IEC 61850-7-4: Communication networks and systems in substations – Part 7-4: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Compatible logical node classes and data classes – First edition.
12. IEC 61850-7-4: Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-4: Basic communication structure – Compatible logical node classes and data object classes – Edition 2.0.
13. Test strategy for Protection, Automation and Control (PAC) functions in a fully digital substation based on IEC 61850 applications. B5 CIGRE. March 2019.