

**ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО ІНТЕРФЕЙСУ ЕЛЕКТРОННИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ
ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СТРУМУ ТА НАПРУГИ**

С.Є.Танкевич, канд.техн.наук

**Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.****e-mail: tankse@bk.ru**

В статті визначено та сформувано вимоги до цифрового інтерфейсу електронних вимірювальних перетворювачів струму та напруги. Вказано на доцільність використання оптоволоконної лінії зв'язку та встановлення електронного блоку безпосередньо на приєднанні. Подано опис комунікаційного стеку передавання вибіркового миттєвих значень струму та напруги до вторинного обладнання, опис еталонного кадру передавання цих значень та розраховано необхідну ширину пропускання каналу передавання даних. Бібл. 7, рис. 1.

Ключові слова: електронний вимірювальний перетворювач, протокол передачі даних, інформаційна сумісність.

Розвиток, з одного боку, інформаційних та мережевих технологій, поява інформаційно-керуючих систем, а з іншого – ринкових відносин в енергобізнесі обумовили якісно новий стрибок у ефективності енергоспоживання, стали передумовою формування нового виду енергетики – інтелектуальної. Набула широкого визнання концепція «розумної ефективності», яка відображає інтелектуальну взаємодію ціноутворення, виробничих процесів і ефективного використання ресурсів, що втілилася в енергетиці в концепцію Smart Grid [1, 2].

Ключовим елементом інтелектуальної енергетики є «цифрова» підстанція, де отримання інформації, передача та її обробка здійснюється в цифровому вигляді. Основними характеристиками такої підстанції є інтелектуалізація первинного обладнання, розвинена комунікаційна мережа та автоматизація експлуатації та керування [3].

Застосування електронних вимірювальних перетворювачів струму/напруги на таких підстанціях має велике значення щодо підвищення надійності та енергоефективності енергосистем і, особливо, систем релейного захисту. Тому, інтерфейс між електронними давачами і вторинними системами потребує значної уваги і впливає на сумісність із вторинним обладнанням систем моніторингу, обліку, захисту, керування та ефективність їхнього функціонування.

Таким чином, метою статті є аналіз нормативних документів, що регламентують вимоги до електронних вимірювальних перетворювачів струму та напруги та формування вимог до реалізації цифрового виходу таких вимірювальних перетворювачів, що відповідали б міжнародній нормативній базі та мали б ефективне застосування в умовах української електроенергетики.

Для приєднання вимірювальних трансформаторів струму (ТС) та напруги (ТН) до цифрової мережі, так званої шини процесу, найчастіше використовують електронні блоки (ЕБ), що виконують вибірку аналогових сигналів із заданою частотою і надсилають їх у шину процесу в цифровому вигляді. Таким чином, будь-який мікропроцесорний пристрій має змогу прийняти синхронізовану за часом вимірювальну інформацію від ТС та ТН і провести обробку даних. Такі ЕБ можуть бути як у складі перетворювача, так і у вигляді з'єднувального модуля, який, в свою чергу, може встановлюватися безпосередньо на приєднанні або у приміщенні.

У даній статті будемо розглядати електронні вимірювальні перетворювачі струму/напруги, що використовують як давачі електромагнітні ТС і ТН і приєднуються до мережі з використанням ЕБ, встановлених безпосередньо на приєднанні. Такий підхід має певні переваги: зменшення навантаження на давач та зниження вимог до нього, відсутність електромагнітних завад на систему передачі сигналу та ін. [4].

Передача вибіркового значень вимагає особливої уваги щодо часових обмежень. Миттєві значення струму і напруги мають бути зафіксовані в один і той самий момент часу з різницею менше декількох мікросекунд і передані вимірювальному та захисному обладнанню. Для цього рекомендується об'єднувати виміряні значення струмів і напруг від одного приєднання в один протокол.

Існує декілька міжнародних стандартів, які в різних аспектах регламентують вимоги до цифрового виходу трансформаторів струму і напруги, а також до даних, які передаються в комунікаційну мережу [5-7]. Ці стандарти не визначають індивідуальних реалізацій або приладів та не обмежують використання елементів та інтерфейсів у рамках комп'ютерної системи, а визначають зовнішню зрозумілу функціональність варіантів реалізації. Модель передачі даних, що описується в стандарті IEC 61850, забезпечує передачу вибіркового (миттєвих) значень струму та напруги в організованому порядку і з контролем часу таким чином, що загальна похибка синхронізації вибірки і передачі мінімізована до ступеня, що забезпечує однозначний розподіл значень, моментів часу і послідовності.

Обмін інформацією засновано на механізмі видавець/передплатник. Видавець записує значення в локальний буфер на стороні, що надсилає; одержувач зчитує значення з локального буфера на стороні прийому. До значень додається часова мітка так, щоб передплатник міг перевірити актуальність отриманих значень. Система зв'язку несе відповідальність за оновлення локального буфера передплатників.

Передавання даних відбувається за стандартом ISO/IEC 8802-3, що, зазвичай, називають Ethernet. Комунікаційний стек цього протоколу передавання даних має семирівневу модель. Рівень представлення, сесійний рівень, транспортний рівень та мережевий рівень у стеку не задаються і навмисне залишаються порожніми.

Розглянемо докладніше фізичний рівень. Зв'язок з вторинним обладнанням реалізують у вигляді волоконно-оптичної або мідно-провідної лінії зв'язку. Використання останньої накладає деякі обмеження, наприклад, вона застосовується тільки як однонаправлений зв'язок, тобто від ТС та ТН до вторинного устаткування. Відповідно до стандарту EIA TPC 485 максимальне число пристроїв, що приєднуються до однієї фізичної лінії, становить 32 одиниці. Крім того, необхідно взяти до уваги та вирішити проблеми, що пов'язані з електромагнітною сумісністю.

Стандартна швидкість передачі для уніфікованого кадру по волоконно-оптичній лінії зв'язку – 2,5 Мбіт/с. Для передавання використовують Манчестерське кодування, де спочатку передається старший (значущий) розряд. При цьому перехід від низького до високого рівня є логічною одиницею, від високого до низького – логічним нулем. Версія оптоволоконної системи передавання, якій слід надавати перевагу – IEEE 802.3 100Base-FX. Рекомендовано використовувати з'єднувачі типу BFOC (IEC 60874-10-1).

Канальний рівень даного стеку запозичений з описаного в IEC 60870-5-1 формату FT3. Переваги цього формату: хороша цілісність даних; структура кадру, придатна для високошвидкісних багатоточкових синхронних ліній зв'язку передачі даних. Клас обслуговування зв'язку – S1: SEND/NO REPLY відповідає тому, що ЕБ вимірювальних перетворювачів передає значення безперервно і періодично без підтвердження або відповіді від вторинного устаткування.

Прикладний рівень відображує структуру кадру передачі інформації від електронного вимірювального перетворювача струму та напруги. Розглянемо детальніше склад кадру. Для з'єднання "точка-точка" значення логічного імені вузла (LNName) завжди 02.

DataSetName (ім'я набору даних) є унікальним числом, що визначає структуру набору даних, тобто призначення каналу даних. Дозволені значення 01 і FE H (254 десяткове значення). Карта каналів даних для значення DataSetName=01 при загальному застосуванні показана на рисунку.

Byte	Заголовок ASDU	27'	26'	25'	24'	23'	22'	21'	20'
Byte 1	msb	Length of ASDU (= 44)							lsb
Byte 2		(Довжина ASDU)							
Byte 3	msb	LNName (=02)							lsb
Byte 4		DataSetName (=01)							
Byte 5	msb	LDName							lsb
Byte 6									
Byte 7	msb	Rated Phase Current							lsb
Byte 8		(Номинальний фазний струм)							
Byte 9	msb	Rated Neutral Current							lsb
Byte 10		(Номинальний струм нейтралі)							
Byte 11	msb	Rated Phase Voltage							lsb
Byte 12		(Номинальна фазна напруга)							
Byte 13	msb	Rated Delay Time							lsb
Byte 14		(Номинальна затримка часу)							
Byte 15	msb	Current Phase A, prot.							lsb
Byte 16		(Струм фази А, захист)							
Byte 17	msb	Current Phase B, prot.							lsb
Byte 18		(Струм фази В, захист)							
Byte 19	msb	Current Phase C, prot.							lsb
Byte 20		(Струм фази С, захист)							
Byte 21	msb	Current Neutral							lsb
Byte 22		(Струм нейтралі)							
Byte 23	msb	Current Phase A, mes.							lsb
Byte 24		(Струм фази А, вимірювання)							
Byte 25	msb	Current Phase B, mes.							lsb
Byte 26		(Струм фази В, вимірювання)							
Byte 27	msb	Current Phase C, mes.							lsb
Byte 28		(Струм фази С, вимірювання)							
Byte 29	msb	Voltage Phase A							lsb
Byte 30		(Напруга фази А)							
Byte 31	msb	Voltage Phase B							lsb
Byte 32		(Напруга фази В)							
Byte 33	msb	Voltage Phase C							lsb
Byte 34		(Напруга фази С)							
Byte 35	msb	Voltage Neutral							lsb
Byte 36		(Напруга нейтралі)							
Byte 37	msb	Busbar Voltage							lsb
Byte 38		(Напруга шини)							
Byte 39	msb	StatusWord#1							lsb
Byte 40		(Слово стану №1)							
Byte 41	msb	StatusWord#2							lsb
Byte 42		(Слово стану №2)							
Byte 43	msb	Sample Counter							lsb
Byte 44		(Лічильник зразків)							
Byte 45	msb	Sampling rate (Частота дискретизації)							lsb
Byte 46	msb	Configuration revision no. (Номер перевірки конфігурації)							lsb

IEC

Деякі області застосування вимагають різних призначень каналу даних. Наприклад, реле захисту в лінії для 1 1/2-вимикача з комбінованим пристроєм передачі напруги та струму на одній з його сторін вимагає не менше двох сетів струму і один сет напруги. Ідентифікатор набору даних (DataSetName) = FE H (254 десяткових числа) дозволяє довільно вибирати канали для джерела з конкретним застосуванням. У цьому випадку необхідно лише вказати призначення каналу даних, заповнивши відповідну довідкову таблицю.

Ім'я логічного пристрою (LDName) використовують для ідентифікації джерела набору даних з встановленим унікальним номером на підстанції. LDName параметризують, наприклад, у процесі введення установки в експлуатацію. В інших своїх комірках цей набір даних містить інформацію про параметри трифазної напруги, напруги нейтралі, трифазних струмів для систем вимірювання, трифазних струмів для систем захисту, струм нульової послідовності, дані про номінальні параметри електроенергетичного об'єкту (ЕЕО). Також присутній 16-ти бітний лічильник відліків (SmpCtr), який використовується для перевірки постійного оновлення кадру. Лічильник має збільшувати значення кожного разу, коли формується новий кадр даних. При надходженні синхронізуючого імпульсу лічильник має приймати значення «0». Слова стану (StatusWord #1 і StatusWord #2) відображають поточний стан обладнання.

Залежно від вимог вхід для синхронізуючого імпульсу може бути електричним або оптичним і має надходити один раз на секунду. Синхроімпульс може бути згенерований від основного генератора тактових імпульсів, але переважно має бути отриманий від GPS-приймача.

Важливим параметром комунікаційної мережі є ширина пропускання каналу передачі даних. Наближено швидкість передачі даних можна розрахувати за простим співвідношенням $D_R = S_R \times T_L \times n_{Tr}$, де S_R – частота вибірки (Гц), T_L – довжина максимального повідомлення (біт), n_{Tr} – кількість приєднаних електронних блоків ТС і ТН.

Довжина максимального повідомлення визначається як (26 Byte Ethernet frame + 4 Byte Priority tagging + 8 Byte Ethertype PDU + 2 Byte ASN.1 tag/length + 2 Byte No. of blocks + 46 Byte universal data set + 23 Byte status indications = 111 Byte × 8 Bit = 888 Bit + 96 Bit interFrameGap = 984 Bit) [7].

Якщо за частоту вибірки прийняти 400 точок на період промислової частоти, що відповідає вимогам для застосування таких вибірок для вимірювання показників якості електроенергії, та розрахувати швидкість передачі даних для одного електронного перетворювача, то $S_R = (400 \times 50) \text{ Гц} \times 984 \text{ біт} \times 1 = 19,68 \text{ Мбіт/с}$. Тобто, для такого перетворювача необхідно використовувати канал передачі даних з шириною пропускання в 100 Мбіт/с. Звичайно на практиці необхідно приймати резерв близько 10%.

Таким чином, дотримання зазначених вимог до цифрового інтерфейсу електронних вимірювальних перетворювачів струму та напруги дозволяє налагодити ефективну передачу даних щодо параметрів режимів роботи ЕЕО та створити необхідне підґрунтя для ефективного та сумісної роботи ТС і ТН із вторинними системами «цифрових» підстанцій. Також це сприяє розвитку технічно досконаліших автоматизованих систем керування ЕЕО, покращенню контролю та керування технологічними процесами в електроенергетиці, зменшенню витрат і часу на спорудження та модернізацію ЕЕО.

1. *Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П.* Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення // Технічна електродинаміка. – 2010. – №6. – С. 44–50.
2. *Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П.* Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні // Технічна електродинаміка. – 2012. – №5. – С. 52–67.
3. *Vadiati M., Basirifar M., Shahbazi B.* Future trends in Smart Grid by applying digital modern substations // Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT), 2011 IEEE PES. – 2011. – Pp. 1–6.
4. *Танкевич С.С., Танкевич Є.М., Блінов І.В.* Організація обміну даними вимірювальних трансформаторів в інтегрованій АСУ ТП підстанції // Технічна електродинаміка. – 2010. – Ч.1. – С. 110–113.
5. Instrument transformers: IEC 61869. – International Electrotechnical Commission, 2014.
6. Communication networks and systems in substations: IEC 61850. – International Electrotechnical Commission, 2011.
7. Instrument transformers: IEC 60044. – International Electrotechnical Commission, 2003.

УДК 621.314.22.08

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ИНТЕРФЕЙСУ ЭЛЕКТРОННЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

С.Е.Танкевич, канд. техн. наук

**Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.**

e-mail: tankse@bk.ru

В статье определены и сформулированы требования к цифровому интерфейсу электронных измерительных преобразователей тока и напряжения. Указано на целесообразность использования оптоволоконной линии связи и установки электронного блока непосредственно на присоединении. Представлено описание коммуникационного стека передачи выборочных мгновенных значений тока и напряжения к вторичному оборудованию, описание эталонного кадра передачи этих значений и рассчитано необходимую ширину пропускания канала передачи данных. Библи. 7, рис. 1.

Ключевые слова: электронный измерительный преобразователь, протокол передачи данных, информационная совместимость.

INTERFACE REQUIREMENTS TO HIGH VOLTAGE ELECTRONIC TRANSDUCERS

S.Tankevych

Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine. e-mail: tankse@bk.ru

Benefits of using electronic current and voltage transformers in the "digital" substations is recognized all over the world and meets the requirements of the concept of Smart Grid. The interface between the electronic sensors and secondary systems requires considerable attention, because it determines the interoperability level with secondary equipment in the substation. Interface requirements to high voltage electronic current and voltage transducers are defined. Some variants of connecting of current and voltage transformers to process bus of digital substation are considered. Specified on the feasibility of using fiber optic lines and installing merging unit in the field of substation near the current transformers. The description of the communication stack of transmission of instantaneous sampled values of current and voltage to the secondary equipment and a description of the reference frame of transmission of these values are given. The required transmission channel width is calculated. References 7, figure 1.

Key words: electronic current transducer, link protocol, interoperability.

1. *Stognii B., Kyrylenko O., Denysiuk S.* Smart grids, electric power systems and their technological support // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2010. – № 6. – Pp. 44–50. (Ukr)
2. *Stognii B., Kyrylenko O., Prakhovnyk A., Denysiuk S.* The evolution of intelligent electrical networks and their prospects in Ukraine // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2012. – № 5. – Pp. 52–67. (Ukr)
3. *Vadiati M., Basirifar M., Shahbazi B.* Future trends in Smart Grid by applying digital modern substations // Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT), 2011 IEEE PES. – 2011. – Pp. 1–6.
4. *Tankevych S., Tankevych Ye., Blinov I.* The data exchange of electronic instrument transformers in digital substation // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2010. – Vol.1. – Pp. 110–113. (Ukr)
5. Instrument transformers: IEC 61869. – International Electrotechnical Commission, 2014.
6. Communication networks and systems in substations: IEC 61850. – International Electrotechnical Commission, 2011.
7. Instrument transformers: IEC 60044. – International Electrotechnical Commission, 2003.

Надійшла 25.02.2014