

УДК 621.391:621.396.688

ПЕРЕДАВАННЯ СИГНАЛУ ТОЧНОГО ЧАСУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОТОКОЛУ РТР ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ SMART-GRID

DOI 10.36994/2707-4110-2019-2-23-09

Коваль В.В., д.т.н., проф. Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна. v.koval@nubip.edu.ua

Самков О.В., д.т.н., Інститут електродинаміки НАН України, Київ, Україна. samkov@ied.org.ua

Осінський О.Л., Національна академія наук України, Київ, Україна. osinskiy@usnan.org.ua

Худинцев М.М., к.ф.-м.н., доц., Державний центр кіберзахисту та протидії кіберзагрозам, Київ, Україна. dck_hmm@dsszzi.gov.ua

Шклярєвський І.Ю., ТОВ «Інформаційні сервісні технології», Київ, Україна. ish@ist.net.ua

Дубович-Костецький В.Г., Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна. vovadk96@gmail.com

Анотація. Метою даної статті є огляд стандартів протоколів РТР, що використовуються для передавання сигналу точного часу з метою забезпечення моніторингу стабільності параметрів режимів функціонування обладнання інтелектуальної мережі SMART Grid та дослідження характеристик вітчизняного комплексу пристроїв УС-1588 для передавання синхросигналів з використанням протоколу РТР.

В інтегрованих мережах електропостачання SMART-Grid енергоефективність, надійність, живучість забезпечується, в певній мірі, за рахунок безперервного моніторингу стабільності параметрів з прив'язкою до сигналів реального часу. Згідно стандарту IEEE C.37-238-2017, для забезпечення мітками часу енергосистеми, згідно концепції інтелектуальної енергомережі SMART-Grid, необхідна розробка і впровадження засобів відтворення міток точного часу з мікросекундною точністю. Протоколом, здатним забезпечити зазначені вимоги а також таким, що не вимагає будівництва виділеної мережі, є протокол РТР. Розроблений державний стандарт України ДСТУ ІЕС/IEEE 61850-9-3:2018 визначає ряд характеристик протоколу РТР, як для енергетичного, так і для інших профілів.

Досліджено вітчизняний комплекс пристроїв УС-1588, що забезпечує передавання сигналів міток точного часу за протоколом РТР. Отримана точність передавання часових міток за результатами експериментальних досліджень не перевищує 1 мкс, що задовольняє вимогам стандарту IEEE C.37-238-2017 для енергетичного профілю РТР.

© Коваль В.В., Самков О.В., Осінський О.Л., Худинцев М.М., Шклярєвський І.Ю., Дубович-Костецький В.Г.

© Вісник Університету «Україна», № 2 (23), 2019

Ключові слова: SMART-Grid, протокол PTP, синхросигнал, стандарт, IEEE-1588, сигнал точного часу, експериментальне дослідження, UC-1588, PtpMon2, MTIE.

TRANSMITTING THE ACCURATE TIME USING THE PTP PROTOCOL FOR AN INTELLECTUAL SMART GRID NETWORK

Valeriy Koval , Dr.habil., Prof., National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. v.koval@nubip.edu.ua

Alexander Samkov , Dr.habil., Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. samkov@ied.org.ua

Alexander Osinskiy , National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. osinskiy@usnan.org.ua

Nikolay Khudyntsev , Ph.D., State Service of Special Communications and Information Protection of Ukraine, Kyiv, Ukraine. dck_hmm@dsszzi.gov.ua

Igor Shkliarevskiy , «Information System Technologies Ltd», Kyiv, Ukraine. ish@ist.net.ua

Vladymyr Dubovich-Kosteckiy , National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. vovadk96@gmail.com

Abstract. In the integrated power supply systems SMART-Grid, energy efficiency, reliability, and survivability are ensured, to some extent, by continuous monitoring of the stability of parameters with reference to real-time signals. In accordance with the IEEE C37-238-2017 standard, in order to provide power supply system with the time stamps, it is necessary, with respect to the concept of intelligent power system SMART Grid, to develop and implement the means for reproducing accurate time stamps with a microsecond accuracy. A protocol, which is capable to meet these requirements and does not require the development of a dedicated power system is the PTP protocol. The developed state standard of Ukraine DSTU IEC / IEEE 61850-9-3: 2018 defines a number of characteristics of the PTP protocol for both energy and other profiles. A full standardization of PTP protocol in Ukraine requires a development and adoption of the following document-based standards as the state's ones: IEEE Std 1588™ — 2008 or IEC-61588: 2009, IEEE C37.238-2017.

The appropriate schemes have been developed for testing a domestic complex of the US-1588M and US-1588S devices with the use of PtpMon2 software. During the tests, it is envisaged to perform short-term and long-term measurements of time characteristics of the synchronization signals generated at the output of US-1588S device. The measurement results are presented as the Time Interval Error (TIE) and Maximum Time Interval Error (MTIE), which is calculated as a maximum value of the TIE array at a given measurement interval by using v1 of the PTPmon2 software. Also, we investigated the complex US-1588, which provides the transmission of accurate time stamps' signals using the PTP protocol. According to the results of experimental studies, the obtained accuracy of time stamps transmission does not exceed 1 μs, which meets the requirements of the IEEE S37-238-2017 standard to the energy profile of PTP.

Keywords: *SMART Grid, PTP protocol, clock signal, standard, IEEE-1588, exact time signal, experimental study, US-1588, PtpMon2, MTIE.*

Вступ

Впровадження безперервного моніторингу стабільності параметрів режимів функціонування обладнання на усіх рівнях інтелектуальної мережі (SMART Grid) дозволяє своєчасно приймати рішення по комутації потужностей, що споживаються і таким чином уникати падінь великих ділянок електромереж чи навіть електромереж масштабу країн, які мали місце у всьому світі протягом останніх десятиліть [1, 2]. Оскільки для коректного співставлення результатів моніторингу, що поступають в центри керування з різних об'єктів електромереж потрібна прив'язка цих результатів до одних і тих же моментів часу (тобто до міток шкали часу), за-вдання високоточного розповсюдження сигналів часу, чи шкали часу по мережах є одним з важливих завдань для реалізації концепції інтелектуальної мережі.

Метою даної статті є огляд стандартів протоколів PTP, що використовуються для передавання сигналу точного часу з метою забезпечення моніторингу стабільності параметрів режимів функціонування обладнання інтелектуальної мережі SMART Grid та дослідження характеристик вітчизняного комплексу пристроїв US-1588 для передавання синхросигналів з використанням протоколу PTP.

Виконання досліджень

На сьогоднішній момент розроблені наступні стандарти протоколи, призначених для дистанційної передачі мітки часу в цифровому коді:

протоколи сімейства IRIG (за назвою однієї з груп розробників в Міноборони США — Inter Range Instrumentation Group), що призначені були спочатку для військових задач, а потім знайшли широке застосування, зокрема, в енергетиці;

протокол мережевого часу, NTP (Network Time Protocol), розроблений в рамках концепції Інтернет для широкого застосування в комп'ютерних мережах;

протокол ToD (Time of Day), який знайшов застосування в метрології для випадків прямого підключення пристроїв один до одного;

протокол прецизійного часу PTP (Precision Time Protocol), який дозволяє розповсюджувати шкалу часу з точністю до сотень наносекунд.

Технічні можливості та особливості застосування зазначених протоколів порівняні в табл. 1.

З наведених даних [1] можна зробити висновок, що єдиним на сьогоднішній день протоколом, здатним забезпечити вимоги стандартів, перерахованим вище, а також таким, що не вимагає будівництва виділеної мережі, є саме протокол PTP. Вказана теза підтверджується активним його впровадженням [1, 3].

У ході формування концепції SMART-Grid було обрано основний протокол мережевої синхронізації, яким став протокол PTP.

Протокол PTP у сучасному вигляді (друга редакція) був стандартизований міжнародною організацією IEEE у 2008 році, тому називається IEEE-1588 v.2 або IEEE-1588-2008. Наступного року Міжнародна Електротехнічна Комісія (МЕК), прий-

няла галузеву версію цього протоколу [7], що майже ідентична базовому стандарту [4], що визначило напрямок подальшого розвитку мережі синхронізації у галузі.

Таблиця 1

Особливості використання протоколів

Протокол, стандарт	Робота, якою забезпечуються точність	Необхідність окремої мережі	Особливості застосування
IRIG-B	10 мкс — 1 мс	так	
ToD (1 PPS + NMEA)	0.1–10 мкс	так	На відстані до 10 м
NTP	1–100 мс	ні (мережа UDP/IP)	Глобальний, залежить від мережі.
IEEE-1588-2008 (PTP)	0.1–10 мкс	ні (мережа UDP/IP)	Мережевий, не залежить від мережі *

* для мережі, яка підтримує PTP відповідно до вимог стандарту.

Відповідно до концепції розробки галузевих профілів PTP (див. п.19.3 базового стандарту) у 2011 році був вперше прийнятий стандарт IEEE Std C37.238-2011, що визначив особливості реалізації протоколу PTP для мереж енергетичних об'єктів, або так званий «енергетичний профіль PTP». У цьому стандарті були введені обов'язкові для енергетичної галузі конкретні налаштування чи обмеження налаштувань обладнання PTP, які у базовому стандарті наведені у дуже широких межах. Ряд питань енергетичного профілю PTP у цьому стандарті залишився не вирішеним.

Оскільки робота над стандартами PTP йшла паралельно в IEEE та IEC, то у 2016 році IEC було прийнято уточнюючий стандарт щодо енергетичного профілю PTP та сформульовані практичні рекомендації щодо його впровадження.

В 2017 році IEEE прийняв нову версію стандарту, що стосується даного питання [8], який все ж дещо відрізняється від стандарту IEC (різні ідентифікатори профілю, різні номери мережевих доменів та ін.). Натомість нова версія вимагає від обладнання PTP сумісності з стандартом [4]. Таким чином, енергетичний профіль PTP визначається стандартами [4] та [8] з урахуванням вимог базового стандарту [7].

Протягом 2014–2018 років прийнято в якості ДСТУ ряд стандартів, наприклад, [5, 6], що загалом стало важливою складовою практичної реалізації на території України енергетичних мереж за концепцією SMART-Grid. Зазначені стандарти стосуються комунікацій, інформаційних моделей та інших питань, які повинні бути враховані при побудові енергетичних мереж. При цьому варто акцентувати увагу на важливості питання, що стосується розповсюдження сигналу часу та еталонних частот у енергетичних мережах. Розглянемо стандарт [50], який стосується комунікаційних мереж та систем для автоматизації електроенергетичних підприємств, а саме його частину «Настанови щодо мережних технологій». Ця частина містить багато практичних рекомендацій щодо структури тих чи

інших ділянок комунікаційних мереж для керування об'єктами енергетики, протоколів, що повинні застосуватись у цих мережах і т.п. Для проведення аналізу, в якості прикладу, наведемо загальну схему стеків протоколів на рис. 1.

На рис. 1 еліпсом червоного кольору виділено протокол точного часу (PTP) IEEE 1588, який рекомендується для застосування з метою розповсюдження сигналу часу та еталонних частот в енергетичних мережах. Варто зауважити на те, що протокол PTP активно впроваджується на енергетичних мережах в багатьох країнах світу. Натомість, досить часто в якості джерел сигналів точного часу та еталонних частот застосовуються приймачі супутникових мереж (GPS та інші), які історично використовувались значно раніше ніж технології PTP.

Мітки точного часу, потрібна точність яких для різних ділянок мережі коливається від мілісекунд до одиниць мікросекунд, застосовуються для синхрофазорних вимірювань, контролю стану шин різних рівнів, а також в протоколах керування мережею.

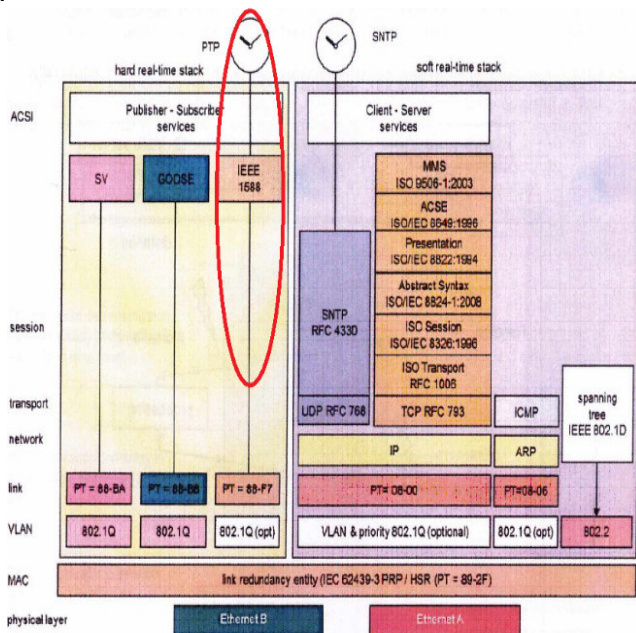


Рис. 1. Стек протоколів згідно МЕК 61850-9-4

Пристрої синхронізації, що підтримують протокол PTP, повинні входити як до складу будь-якого мережевого обладнання (комутатори, маршрутизатори та ін.), так і до складу спеціалізованого обладнання такого, як синхрофазори. Альтернативою до цього, є використання спеціалізованого обладнання, функції якого полягають в отриманні міток точного часу від виділеного обладнання, яке має назву ведений годинник або «слейв». В цьому випадку може бути застосований, наприклад, протокол ToD або ж протокол IRIG-B, що застарів але все ще подекуди використовується. Ведений годинник приймає коректуючу інформацію від пристроїв синхронізації більш високих ієрархічних рівнів, включно аж до найвищого, який у термінах стандарту протоколу PTP називається «грандмастер».

У разі використання інших протоколів (HSR-RSTP, PRP та ін.), для забезпечення високої надійності мережі, задача формування міток часу для енергетичних об'єктів стає досить складною, що обумовлює необхідність пошуку оригінальних рішень, створення спеціальних профілів протоколу RTP.

Розроблений в 2018 році державний стандарт України [6] визначив ряд характеристик для такого спеціального профілю протоколу RTP, який повинен використовуватись на енергетичних мережах. Для повноцінної стандартизації протоколу RTP, як для енергетичного, так і для інших профілів важливими є посилення на базовий стандарт [4], який був майже без змін стандартизований МЕК в якості стандарту МЕК 61588. Виконана стандартизація енергетичного профілю RTP [6] мабуть повинна означати прийняття де-факто і базового стандарту, в якому наведені визначення, базові поняття, алгоритми функціонування, вимоги та обмеження протоколу. Така логіка призводить до певної невизначеності, яка полягає в наступному. Енергетичний профіль RTP, що прийнятий в рамках МЕК, а потім стандартизований як державний стандарт України [6], був розроблений на основі більш раннього стандарту IEEE Std C37.238™ (версія 2011 року) але потім він був доопрацьований до версії 2017 року [8], в якій можливості та функції енергетичного профілю RTP були розширені.

З метою усунення означених недоліків процесу стандартизації в Україні протоколу RTP та запобігання невизначеностей, у разі його впровадження в різні галузі економіки, доцільним є розробка й прийняття в якості державних стандарти, що базуються на документах: IEEE Std 1588™-2008 [6] або IEC-61588:2009 [7], IEEE C37.238-2017 [8].

Джерелом сигналів що передаються з використанням протоколу RTP є обладнання UC-1588 M, спрощена структурна схема якого представлена на рис. 2.

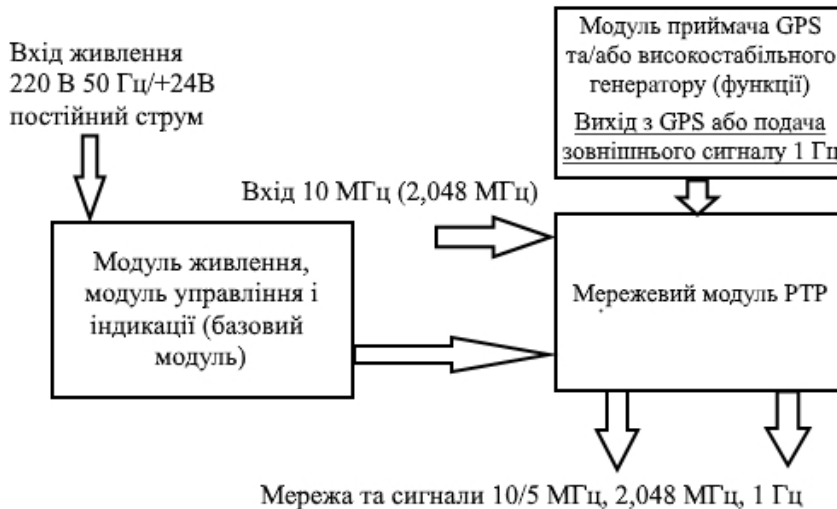


Рис. 2. Спрощена структура пристрою UC-1588 M

Пристрій UC-1588M підключається безпосередньо до UC-1588S за допомогою крос-кабеля Ethernet або через комутатор D-Link DES-101604 (рис. 3). На рис. 3 також показано підключення до персонального комп'ютера (ПК) досліджуваних

пристроїв. При проведенні досліджень згідно запропонованої схеми раціональним є використання програмного забезпечення PtpMon2, що інсталується в персональний комп'ютер. Використання сучасного вимірювача WMS-8 (Wander Monitoring System) забезпечує можливість одночасного проведення вимірювань сигналів міток точного часу, як на виході UC-1588M, так і на виході UC-1588S.

Програмне забезпечення (ПЗ) PTPmon2 версії 1, призначено для сумісного використання з пристроєм UC-1588S в якості засобу реєстрації помилки, або зсуву часових міток вказаного веденого пристрою та провідного пристрою UC-1588M, підключених до локальної мережі та налаштованих для сумісного функціонування в парі «провідний-ведений».

Метою експериментальних досліджень є оцінка інформації, отриманої в результаті технічних випробувань, для визначення можливостей застосування стандартного профілю РТР згідно IEC-61588 («енергетичний» профіль РТР) до цифрових підстанцій з використанням пристроїв UC-1588M.

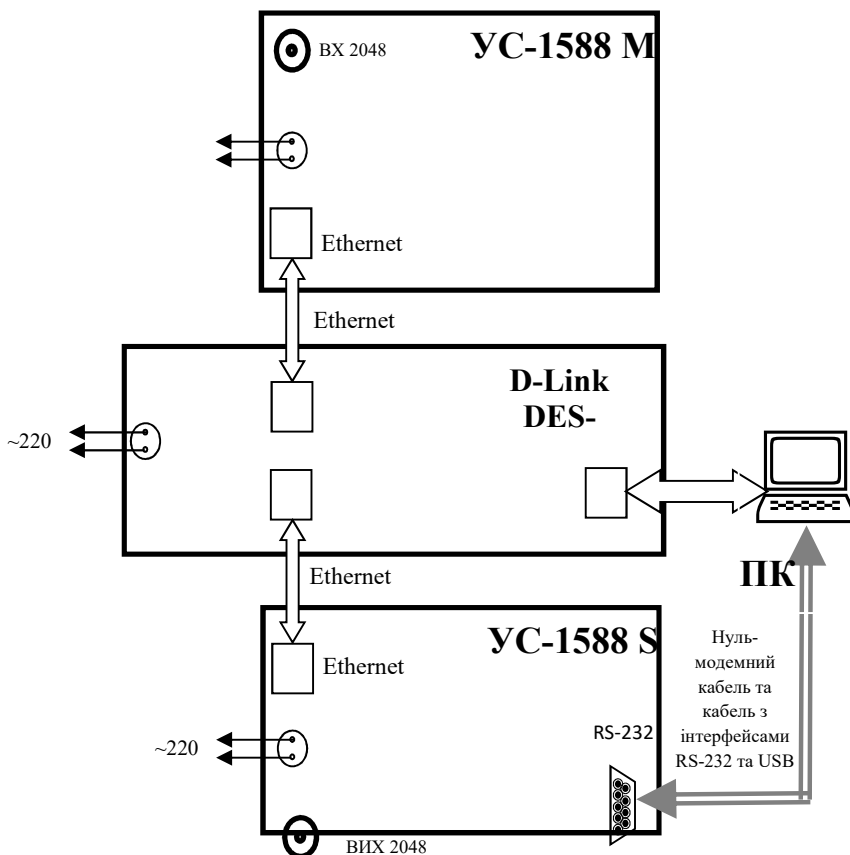


Рис. 3. Схема для проведення випробувань обладнання UC-1588M та UC-1588S з використанням програмного забезпечення PtpMon2

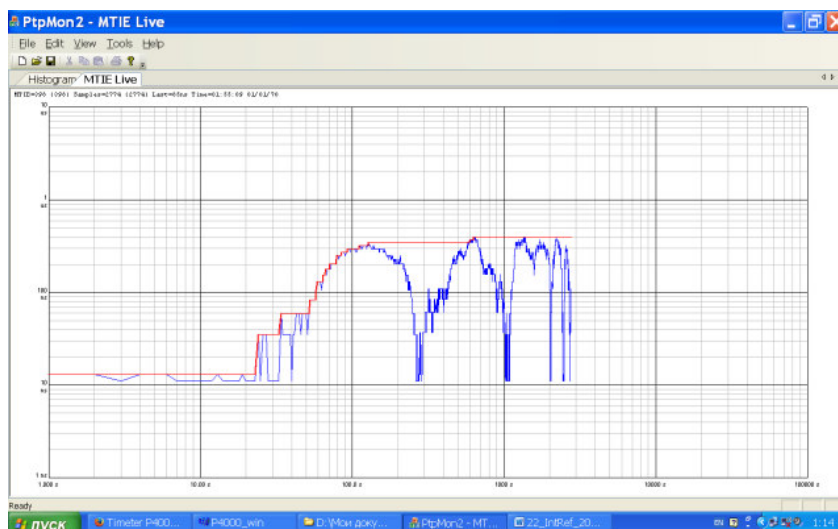


Рис. 4. Результати короткотривалих вимірів

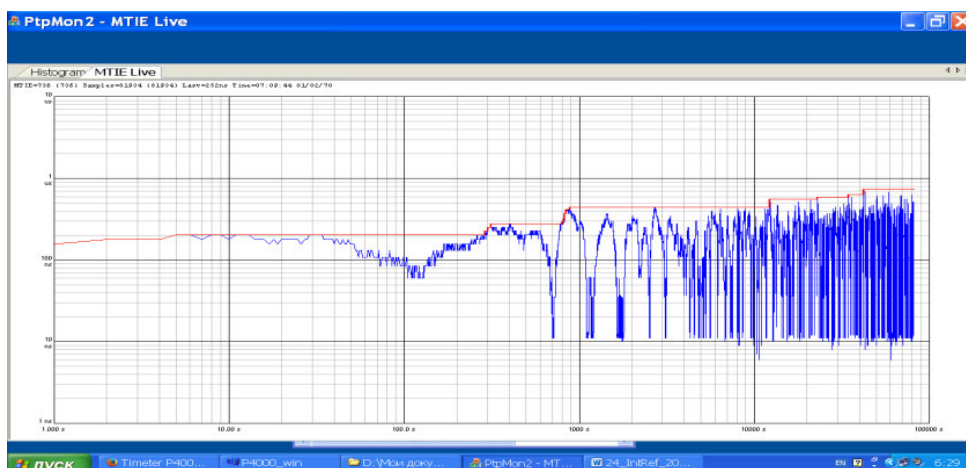


Рис. 5. Результати довготривалих вимірів

Висновки

1. Оглядовий аналіз і порівняння стандартів протоколу PTP показав, що розроблений в 2018 році державний стандарт України ДСТУ ІЕС/ІЕЕЕ 61850-9-3:2018 визначив ряд характеристик профілю протоколу PTP але для повноцінної стандартизації протоколу PTP, як для енергетичного, так і для інших профілів, важливими є посилання на базовий стандарт ІЕЕЕ Std 1588™-2008.

2. З метою усунення зазначеного недоліку процесу стандартизації в Україні протоколу PTP та запобігання невизначеностей, у разі його використання в різних галузях економіки, доцільним є розробка й прийняття в якості державних такі стандарти, що базуються на документах: ІЕЕЕ Std 1588™-2008 або ІЕС-61588:2009, ІЕЕЕ С37.238-2017.

3. Результати проведених експериментальних досліджень комплексу вітчизняних пристроїв УС-1588 дають можливість стверджувати, що отримана точність часових параметрів за показником максимальної помилки часового інтервалу (MTIE) менша ніж 1 мкс, що задовольняє вимогам стандарту IEEE C.37-238-2017.

Література

1. Величко О.М., Коваль В.В., Самков О.В., Шкляревський І.Ю. Сучасні протоколи передачі шкали часу інтелектуальних електроенергетичних систем зі зниженою аварійністю // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». — К., 2016. — Вип. 242. — С.41–50.
2. Смирнов С. О., Успенский М. И., «Причины возникновения и меры противодействия крупным авариям в электроэнергетических системах» // Известия Коми научного центра УРО РАН, выпуск №1 (9), 2012 г. стр. 68–77.
3. Martinez E.V., et al. «Smart Grids. Part 1: Instrumentation Challenges», IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, February, 2015, pp.6–9.
4. IEEE Instrumentation and Measurement Society, IEEE Std 1588™-2008 — Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, 2008.
5. ДСТУ ІЕС/TR 61850-90-4:2016 «Комунікаційні мережі та системи для автоматизації електроенергетичних підприємств». Ч.90-4 «Настанови щодо мережних технологій».
6. ДСТУ ІЕС/IEEE 61850-9-3:2018 «Комунікаційні мережі та системи для автоматизації електроенергетичних підприємств» Ч. 9-3 «Профіль протоколу точного часу для автоматизації енергосистем».
7. ІЕС-61588:2009. «Precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems. ІЕС, 2009.
8. IEEE C37.238-2017 — IEEE Standard Profile for Use of IEEE 1588 Precision Time Protocol in Power System Applications.

Reference

1. Velychko O.M., Koval V.V., Samkov O.V., Shkliarevskiy I.Iu. Suchasni protokoly peredachi shkaly chasu intelektualnykh elektroenerhetychnykh system zi znyzhenoiu avariinistiu // Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriiia «Tekhnika ta enerhetyka APK». — K., 2016. — Vyp. 242. — pp. 41–50.
2. Smirnov S. O., Uspenskiy M. I., «Prichinyi vznikhoveniya i meryi protivodeystviya krupnyim avariyam v elektroenergeticheskikh sistemah» // Izvestiya Komi nauchnogo tsentra URO RAN, vyipusk #1 (9), 2012 g. str. 68–77.
3. Martinez E.V., et al. «Smart Grids. Part 1: Instrumentation Challenges», IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, February, 2015, pp.6–9.
4. IEEE Instrumentation and Measurement Society, IEEE Std 1588™-2008 — Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, 2008.

5. DSTU IEC/TR 61850-90-4:2016 «Komunikatsiini merezhi ta systemy dlia avtomatyzatsii elektroenerhetychnykh pidpriemstv». Ch.90-4 «Nastanovy shchodo merezhnykh tekhnolohii».

6. DSTU IEC/IEEE 61850-9-3:2018 «Komunikatsiini merezhi ta systemy dlia avtomatyzatsii elektroenerhetychnykh pidpriemstv» Ch. 9-3 «Profil protokolu tochnoho chasu dlia avtomatyzatsii enerhosystem».

7. IEC-61588:2009. «Precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems. IEC, 2009.

8. IEEE C37.238-2017 — IEEE Standard Profile for Use of IEEE 1588 Precision Time Protocol in Power System Applications.