

РОЗРОБЛЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗАСОБІВ БАГАТОКАНАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ПРИСТРОЇВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ SMART GRID СИСТЕМ

О.В. Самков^{1*}, докт. техн. наук, **В.В. Коваль**^{2**}, докт. техн. наук, **В.П. Лисенко**^{2***}, докт. техн. наук, **В.В. Чопик**^{1****}, канд. техн. наук, **О.Л. Осінський**^{1*****}, **Б.О. Самков**^{1*****}
1 – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Берестейський, 56, м. Київ, 03057, Україна
2 – Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна
e-mail: samkov@ied.org.ua

У роботі представлено результати розроблення засобів комп'ютерно-інтегрованої системи багатоканально-го моніторингу пристроїв синхронізації часу, яка призначена для підвищення достовірності цифрових даних синхронних векторних вимірів електроенергетичних SMART Grid систем. Розроблено конструкторську документацію та виготовлено дослідний зразок пристрою багатоканального моніторингу. Створено сегмент інформаційної цифрової системи передавання даних моніторингу з використанням корпоративної IP-мережі ІЕД НАН України, сертифікованої апаратури Cisco та засобів багатоканального моніторингу, які змонтовано на лабораторному стенді. Виконано експериментальні дослідження та проведено тестування виготовленого дослідного зразку пристрою багатоканального моніторингу на діючій IP-мережі. Встановлена відповідність отриманих характеристик досліджуваних цифрових засобів багатоканального моніторингу та інформаційної системи передавання даних вимогам технічного завдання. Наведено організаційну структуру системи багатоканального моніторингу пристроїв синхронізації часу та розроблено рекомендації щодо її використання на електроенергетичних підприємствах. Бібл. 10, рис. 2.

Ключові слова: SMART Grid, пристрій синхронізації часу, вимірювання, цифровий засіб, багатоканальний моніторинг, інформаційна система.

Автоматизована система керування технологічними процесами (підстанції) [1] повинна забезпечувати експлуатацію магістральних та міждержавних електричних мереж як в умовах штатного режиму роботи, так і в умовах надзвичайних ситуацій. Функціонування інтелектуальних електроенергетичних мереж залежить від результатів моніторингу параметрів, які повинні проводитись у реальному часі з мікросекундною точністю [2, 3]. Цифрові дані результатів синхронних векторних вимірів синхрофазорів (PMU – Phasor Measurement Unit) є вихідною інформацією для забезпечення надійного і енергоефективного керування електроенергетичними SMART Grid системами.

Згідно зі стандартом [4], який введено в дію на території України, для автоматизації енергосистем повинна бути забезпечена передача сигналів синхронізації часу локальними мережами з точністю не гірше 1 мікросекунди. Варто зауважити, що нині розповсюджена практика формування синхросигналів із використанням глобальних супутникових навігаційних систем, яка вирішує проблему точності. Проте такий спосіб формування синхросигналів має значну залежність від характеристик відкритого середовища розповсюдження радіосигналів. Аналіз проведених досліджень підтверджує наявність зазначеної залежності та визначає вплив на системи синхронізації критичної інфраструктури [3, 5–7]. В умовах воєнного стану та інших надзвичайних і нештатних ситуаціях імовірність впливу на сигнали синхронізації часу значно збільшується, що потребує застосування додаткових організаційних і технічних заходів. З метою покращення якісних показників сигналів синхронізації часу пропонується використання комп'ютерно-інтегрованої системи багатоканального моніторингу пристроїв синхронізації часу, організаційна структура якої наведена на рис. 1.



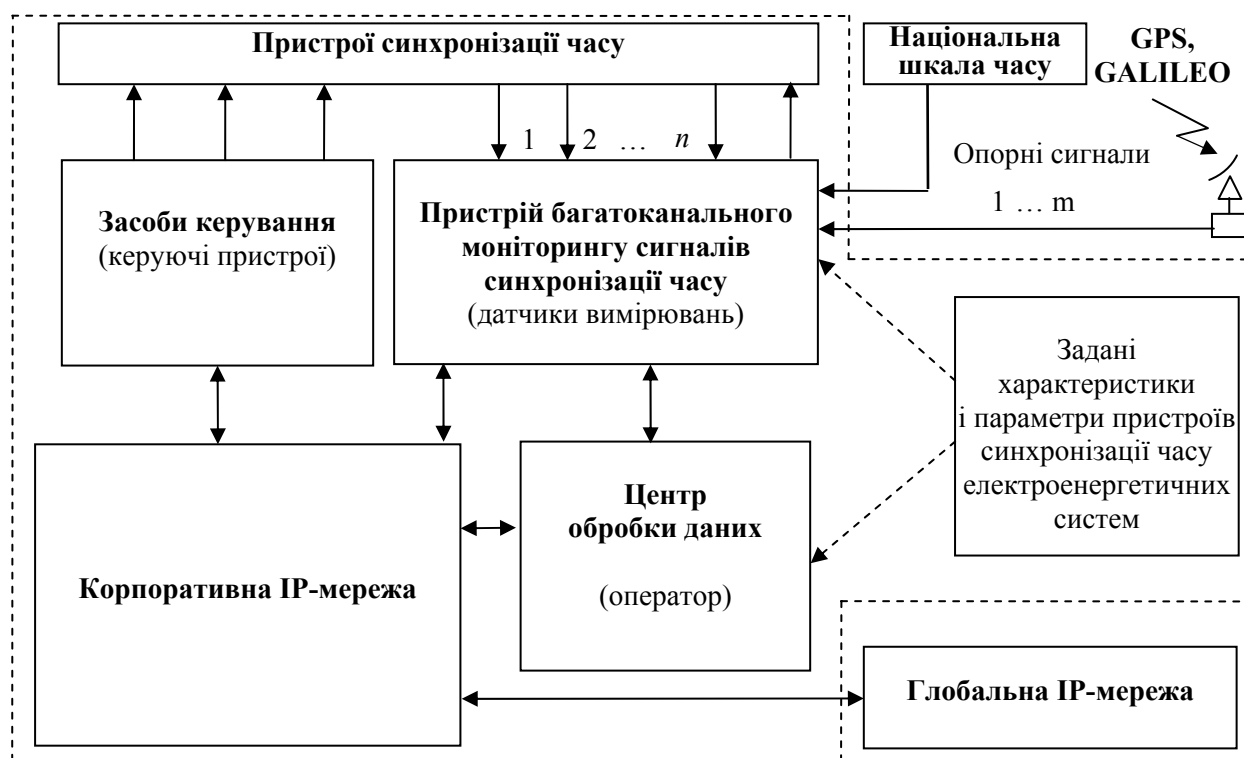


Рис. 1

Технічна реалізація комп'ютерно-інтегрованої системи багатоканального моніторингу синхросигналів буде малоефективною в разі використання на цифрових підстанціях сигналів тільки однієї супутникової навігаційної системи GPS. У такому випадку виявляється проблемним забезпечення достатньої якості опорного сигналу та, як наслідок, низької інформаційної достовірності результатів багатоканального моніторингу сигналів синхронізації часу. Для підвищення ефективності процесу багатоканального моніторингу доцільним буде використання сигналу національної шкали часу, що формується Національним еталоном одиниць часу і частоти [8, 9].

Практичним підґрунтям для реалізації комп'ютерно-інтегрованої системи є результат розроблення її програмно-апаратних засобів, проведення експериментальних досліджень і тестувань. У процесі виконання науково-технічної роботи «Розроблення пристрою багатоканального моніторингу сигналів синхронізації часу енергосистем» розроблено конструкторську документацію та виготовлено дослідний зразок пристрою багатоканального моніторингу сигналів синхронізації часу (ПБМССЧ) [3].

Створено лабораторний стенд, складовою частиною якого є дослідний зразок ПБМССЧ, із застосуванням якого проведено натурне моделювання, експериментальні дослідження і тестування. Дослідний зразок ПБМССЧ складається з електронних компонентів, які розміщуються на платах, а саме на процесорній платі (ПП) та платі формувачів сигналів (ПФС). Плата процесора ПП забезпечує виконання вимірювань, здійснює попередню обробку даних і формує інформацію для передавання і прийому через інтерфейси RS-232 та Ethernet. Плата ПП містить мікроконтролер сімейства ARM TDMI виробництва компанії NXP LPC2378 та інтерфейсні мікросхеми зв'язку, такі як мікросхеми Ethernet модуля та інтерфейсу RS232. На процесорній платі також реалізовано повнодоступний одноланковий комутатор, який дає змогу підключити будь-який вхідний сигнал до входу мікросхеми EPM7128SLC84-15 програмувальної логіки «ALTERA» сімейства MAX7000.

Плата ПФС виконує узгодження та перетворення контрольованих сигналів синхронізації часу до рівнів і форм, які можуть бути прийняті та оброблені в цифровому виді на процесорній платі цієї схмотехнічної реалізації ПБМССЧ. Багатоканальність ПБМССЧ забезпечується завдяки використанню п'яти вхідних інтерфейсів, один з яких призначено для під-

ключення опорного сигналу, з номінальними частотами 2,048 МГц, 5 МГц та 10 МГц. Усі вхідні інтерфейси мають трансформаторну розв'язку. Також на платі встановлено прецизійний кварцовий генератор та елементи, які забезпечують можливість керування його частотою цифровим сигналом.

Виготовлений дослідний зразок був використаний для експериментальної перевірки теоретичних положень запропонованого способу багатоканального моніторингу та тестування ПБМССЧ на діючій IP-мережі із застосуванням сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. Схему організації взаємодії персонального комп'ютера і пристрою ПБМССЧ з використанням сегмента інформаційної системи передавання даних моніторингу, який підключено до IP-мережі ІЕД НАН України, наведено на рис. 2.

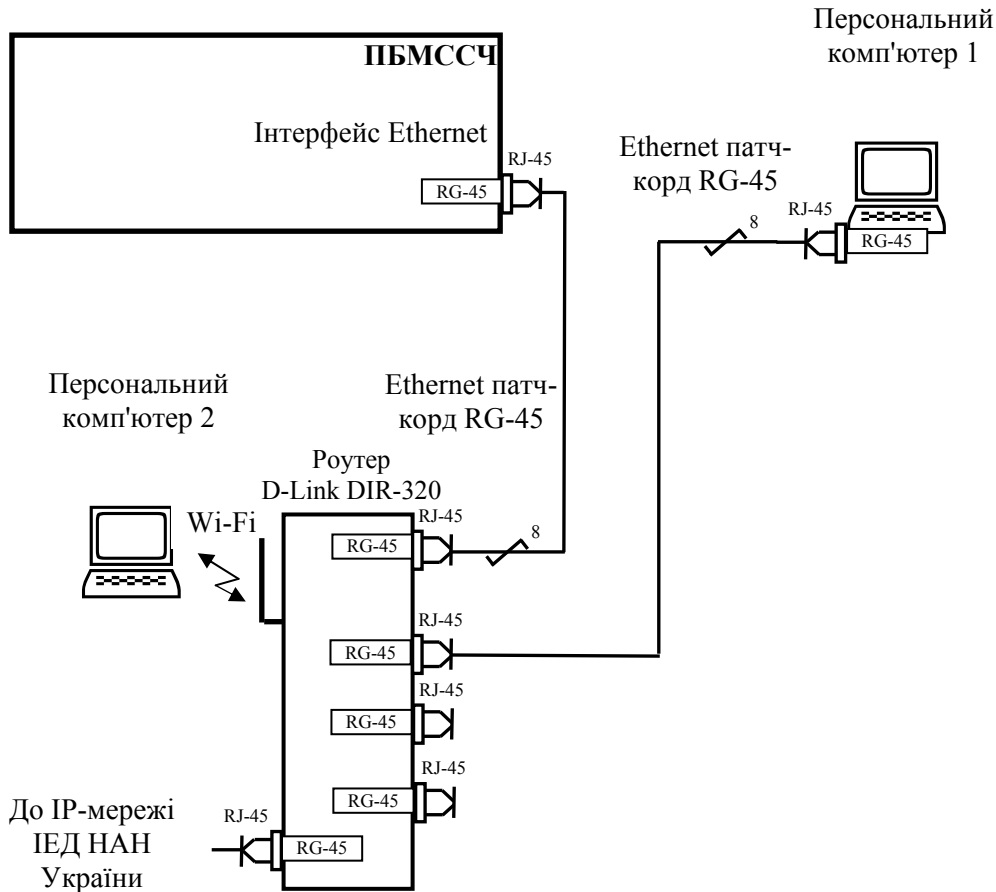


Рис. 2

Подальші дослідження виконувались із використанням створеного сегмента цифрової інформаційної системи передавання даних моніторингу на базі сертифікованої апаратури Cisco, який був підключений до корпоративної IP-мережі ІЕД НАН України.

Результати проведених досліджень пристрою ПБМССЧ із використанням сегмента цифрової інформаційної системи передавання даних моніторингу показали відповідність отриманих значень встановленим значенням тестового сигналу. З огляду на це можна зробити висновок про успішне проходження тестування й узгодженість між отриманими характеристиками та відповідними пунктами технічного завдання.

За результатами розроблення і проведених досліджень пристрою ПБМССЧ підготовлено рекомендації щодо використання системи багатоканального моніторингу сигналів синхронізації часу на електроенергетичних підприємствах.

1. Стандарт підприємства СОУ НЕК 20.261:2021 Технічна політика НЕК «Укренерго» у сфері розвитку та експлуатації магістральних та міждержавних електричних мереж.
2. Кириленко О.В. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режимію. Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.
3. В.В. Коваль, О.В. Самков, І.В. Блінов, О.Л. Ламеко, І.В. Трач, С.Й. Поліщук, В.І. Вакась, В.В. Чопик, О.Л. Осінський, Автоматизований моніторинг сигналів синхронізації часу енергосистем. К.: Видавничий центр НУБіПУ, 2021. 380 с.
4. ДСТУ ІЕС/ІЕЕЕ 61850-9-3:2018 Комунікаційні мережі та системи для автоматизації електроенергетичних підприємств Профіль протоколу точного часу для автоматизації енергосистем. Ч. 9–3.
5. Lombardi M. NIST Technical Note 2189, An Evaluation of Dependencies of Critical Infrastructure Timing Systems on the Global Positioning System (GPS), November 2021. DOI: <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.2189>
6. Department of Homeland Security (DHS) Science and Technology Directorate (S&T). Resilient PNT Conformance Framework, Version 2.0, May 2022. <https://www.dhs.gov/publication/st-resilient-pnt-conformance-framework>
7. National Security of the National Science & Technology Council. Positioning, Navigation, and Timing Research and Development Interagency Working Group Subcommittee on Resilience Science and Technology Committee on Homeland and National Research and Development Plan for Position, Navigation, and Timing Resilience, August 2021. https://www.whitehouse.gov/wpcontent/uploads/2021/08/Position_Navigation_Timing_RD_Plan-August-2021-1.pdf.
8. Koval V., Lysenko V., Osinskiy O., Samkov O., Khudyntsev M. Infocommunication Technologies and Networks for Multichannel Monitoring of Synchronization Signals of SMART Grid and Microgrid Electrical Systems. Conference Proceedings *International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PICST-2019)*. 8–11 October 2019: Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine. Pp. 153–156. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8632078>
9. Коваль В.В., Самков О.В., Худинцев М.М., Кальян Д.О. Автоматизована система синхронізації цифрових сигналів. К.: ТОВ ЦП Компрінт, 2018. 494 с.
10. Koval V., Kalian D., Osinskiy O., Samkov O., Khudyntsev M., Lysenko V. Diagnostics of Time Synchronization Means of the Integrated Power Grid of SMART Technologies by Using an Optimal Performance System of Automatic Frequency Adjustment. Conference Proceedings *15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2020*; Lviv, Slavske; Ukraine; 25–29 February 2020. Pp.269–276. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9088587>

DEVELOPMENT OF DIGITAL MEANS OF MULTI-CHANNEL MONITORING OF TIME SYNCHRONIZATION DEVICES OF POWER SMART GRID SYSTEMS

O.V. Samkov¹, V.V. Koval², V.P. Lysenko², V.V. Chopyk¹, O.L. Osinskyi¹, B.O. Samkov¹,

1 – Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine,

Beresteyskiy ave., 56, Kyiv, 03057, Ukraine

2 – The National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

Heroiv Oborony St., 15, Kyiv, 03041, Ukraine

e-mail: samkov@ied.org.ua

The work presents the development results of the means of a computer-integrated system of multi-channel monitoring of time synchronization devices, which is designed to increase the reliability of digital data of synchronous vector measurements of the power SMART Grid systems. The design documentation was developed, and a prototype of the multi-channel monitoring device was manufactured. A segment of the information digital system for transmitting monitoring data was created using the corporate IP network of the IED of the NAS of Ukraine, Cisco-certified equipment, and multi-channel monitoring devices mounted on a laboratory stand. Experimental studies and testing of the manufactured experimental model of the multi-channel monitoring device on the operating IP network were carried out. It was established that the obtained characteristics of the researched digital means of multi-channel monitoring and the information system of data transmission meet the requirements of the technical assignment. The organizational structure of the multi-channel monitoring system of time synchronization devices is presented, and recommendations for its use in electric power enterprises are developed. Ref. 10, fig. 2.

Keywords: SMART Grid, time synchronization device, measurement, digital means, multi-channel monitoring, computer-integrated system.

1. Enterprise standard SOU NEC 20.261:2021 Technical policy of NEC Ukrenergo in the field of development and operation of trunk and interstate electric networks. (Ukr)
2. Kirilenko O. Intelligent electrical networks: elements and modes. Kyiv, Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2016. 400 p. (Ukr)
3. Koval V.V., Samkov O.V., Blinov I.V., Lameko O.L., Trach I.V., Polischuk S.J., Vakas V.I., Chopyk V.V., Osinskyi O.L. Automated monitoring of time-synchronization signals of power systems. 2021. K.: NUBIPU Publishing Center, 2021. 380 p. (Ukr)

4. State Standard of Ukraine IEC/IEEE 61850-9-3:2018 Communication networks and systems for automation of electric power enterprises. Precise Time Protocol Profile for Power System Automation. P. 9–3. (Ukr)
5. Lombardi M. NIST Technical Note 2189, An Evaluation of Dependencies of Critical Infrastructure Timing Systems on the Global Positioning System (GPS), November 2021. DOI: <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.2189>
6. Department of Homeland Security (DHS) Science and Technology Directorate (S&T). Resilient PNT Conformance Framework, Version 2.0, May 2022. <https://www.dhs.gov/publication/st-resilient-pnt-conformance-framework>
7. National Security of the National Science & Technology Council. Positioning, Navigation, and Timing Research and Development Interagency Working Group Subcommittee on Resilience Science and Technology Committee on Homeland and National Research and Development Plan for Position, Navigation, and Timing Resilience, August 2021. https://www.whitehouse.gov/wpcontent/uploads/2021/08/Position_Navigation_Timing_RD_Plan-August-2021-1.pdf.
8. Koval V., Lysenko V., Osinskiy O., Samkov O., Khudyntsev M. Infocommunication Technologies and Networks for Multichannel Monitoring of Synchronization Signals of SMART Grid and Microgrid Electrical Systems. Conference Proceedings *International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology (PICS&T-2019)*. 8–11 October 2019: Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine. Pp. 153–156. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8632078>
9. Koval V.V., Samkov O.V., Khudyntsev M.M., Kalian D.O. Automated system of synchronization of digital signals: K.: TOV TsP Komprynt, 2018. 494 p. (Ukr)
10. Koval V., Kalian D., Osinskiy O., Samkov O., Khudyntsev M., Lysenko V. Diagnostics of Time Synchronization Means of the Integrated Power Grid of SMART Technologies by Using an Optimal Performance System of Automatic Frequency Adjustment. Conference Proceedings *15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2020*; Lviv, Slavske; Ukraine; 25–29 February 2020. Pp. 269–276. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9088587>

Надійшла: 01.06.2023
Прийнята: 19.06.2023

Submitted: 01.06.2023
Accepted: 19.06.2023