

М.Я. Мухаровський<sup>1</sup>, М.В. Головня<sup>1</sup>, А.Д. Нижник<sup>1</sup>, О.В. Нікітенко<sup>1</sup>, П.О. Янко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ДП Всеукраїнський науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів (ДП «Укрметрестандарт»), Київ, Україна

<sup>2</sup> Приватне акціонерне товариство «Укртелеком», Київ, Україна

## ПЕРЕДАВАННЯ ЧАСУ КАНАЛАМИ ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОТОКОЛУ ПРЕЦИЗІЙНОГО ЧАСУ (PTP) IEEE 1588, V.2

В статті подані результати практичного дослідження, визначення особливостей та метрологічних характеристик передачі сигналів часу діючими каналами електрозв'язку за протоколом прецизійного часу IEEE 1588, v.2.

**Ключові слова:** передавання шкали часу, коригування шкали часу, протокол прецизійного часу (PTP – Precision Time Protocol), синхронні шкали часу, еталон одиниць часу і частоти, швидкість передачі даних.

### Вступ

В наш час все більше поширення набувають мережі передавання даних з комутацією пакетів. Ця технологія електрозв'язку пред'являє підвищені вимоги до підтримання і передавання шкали часу у таких мережах, а також до синхронізації шкал часу.

### Основний матеріал

Синхронні шкали часу – шкали часу, у яких моменти будь-якої події збігаються з потрібною точністю [1]. Синхронізація шкал часу дуже важлива у сучасних мережах електрозв'язку для цифрового обладнання, в якому у режимі реального часу відбувається одночасне виконання певних внутрішніх технологічних процесів та обробка різноманітних даних. Наприклад, при локалізації аварії за допомогою внутрішньої діагностики обладнання та створення запису у журналі про певну подію, що відбулася на сервері у системі управління; при з'єднанні абонентів для розмови; при тарифікації трафіка за часом доби; проведення процедур,

пов'язаних з підтвердженням прийому/передачі електронного підпису; здійсненні транзакцій; перебігу внутрішніх технологічних процесів і т. ін.

Діюча сьогодні мережа синхронізації орієнтована на забезпечення тільки стабільності фази синхросигналу (тобто похідної, менш інформативної у порівнянні зі шкалою часу).

Тому нові технічні рішення, що дозволяють передавати шкалу часу з точністю, кращою за десятки мілісекунд, викликають інтерес у метрологів, зв'язківців та користувачів мереж передавання даних з комутацією пакетів.

Одним з найбільш перспективних рішень в цій області є використання протоколу прецизійного часу (PTP – Precision Time Protocol), визначеного галузевим міжнародним стандартом IEEE 1588, v.2.

В основі протоколу лежить так званий зустрічний метод дистанційного звірення шкал часу. На рис. 1 наведена ілюстрація вищевказаного процесу звірення [2].

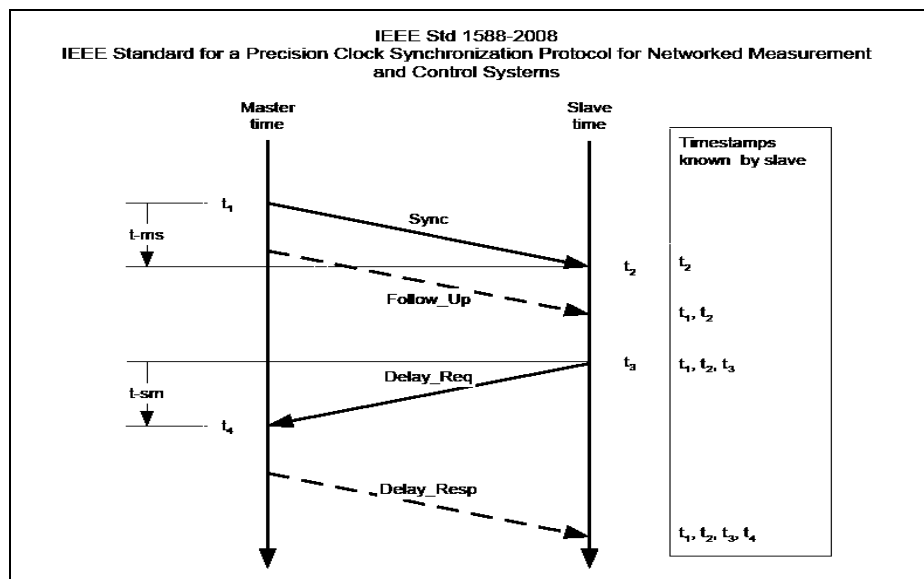


Рис. 1. Ілюстрація обміну повідомленнями за протоколом PTP

У двох шкалах часу, *Master time* та *Slave time*, рознесених у просторі годинників з індивідуальним початком відліку для кожної з них, за реалізації зустрічного методу звірення часу відбувається обмін мітками часу по двосторонньому каналу зв'язку між пунктами звірення. В результаті цього у пункті розміщення еталонного годинника зі шкалою часу *Master time* стають відомими чотири мітки часу:

– показ годинника  $t_1$  в еталонній шкалі часу у момент передачі прямого та показ годинника  $t_4$  у момент прийому зустрічного повідомлення;

– показ  $t_2$  місцевого годинника *Slave time* у момент прийому прямого та показ  $t_3$  у момент передачі зустрічного повідомлення.

Вирішення системи рівнянь дозволяє визначити розходження шкал часу ведучого пристрою (*Master*) і веденого пристрою (*Slave*), а також двосторонню затримку передачі. За одержаним результатом ведений пристрій (*Slave*) здійснює корекцію своєї шкали часу.

ДП «Укрметртестстандарт» – єдине підприємство в Україні, яке взялося за практичне дослідження, вивчення особливостей та метрологічних характеристик передачі сигналів часу каналами електрозв'язку за протоколом прецизійного часу IEEE 1588, v.2.

Для цього підприємством був придбаний комплект обладнання для передачі і прийому сигналів часу за RTP протоколом. Це обладнання – УС-1588, розроблене і виготовлене українським підприємством ТОВ «Інформаційні сервісні технології», м. Київ. Основні характеристики обладнання УС-1588:

– вхідний опорний сигнал ведучого – 1 Гц або 2,048 МГц;

– вихідні сигнали веденого – 1 Гц; 0 МГц; код NMEA;

– похибка веденого відносно ведучого (*Master to Slave*, за 100 с) – не більше 600 нс (з нульовою базою).

Зовнішній вигляд обладнання УС-1588 (*Master*) показано на рис. 2.

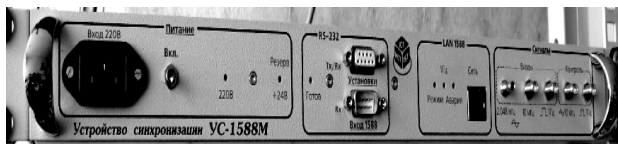


Рис. 2. Передня панель пристрою синхронізації, модель УС-1588М (*Master*)

Виконання обладнання *Slave* відрізняється призначенням коаксіальних роз'ємів (в основному, виходи сигналів замість входів).

ДП «Укрметртестстандарт» зберігає вторинний еталон одиниць часу і частоти. Групова міра вторинного еталона складається з водневого генератора Ч1-80 і двох водневих генераторів VCH-1005 (виробництво НПУФП «Кварц» та ЗАО «Время-Ч», Російська

федерація). В березні 2010 року удосконалений вторинний еталон був атестований Національним науковим центром «Інститут метрології». Сумарна відносна похибка по частоті, виражена середнім квадратичним відносним відхиленням при порівнянні вторинного еталона з державним первинним еталоном не більше  $1,5 \cdot 10^{-13}$ ; розширена невизначеність  $U$  – на рівні 24 нс при коефіцієнті охоплення  $K = 2$ .

Еталонним джерелом сигналу часу на початку тестування був сигнал супутникової радіонавігаційної системи GPS, а на останніх етапах – сигнал державного первинного еталона одиниць часу і частоти України, який зберігається в ННЦ «Інститут метрології», м. Харків. Це дозволило проводити дослідження з найменшою похибкою.

Середовищем передавання сигналів часу були використані локальна мережа ДП «Укрметртестстандарт» та корпоративна мережа ПАТ «Укртелеком».

Під час тестування у локальній мережі ДП «Укрметртестстандарт» спостереження велись за допомогою частотоміра Agilent. Одержані стабільні результати на різних швидкостях передачі. Передавався 1 пакет за секунду. Вимірювання проводились 1 раз на 2 години. Графічний результат тестування подано на рис. 3.

Київською міською філією ПАТ «Укртелеком», з вересня 2010 року до лютого 2011 року для ДП «Укрметртестстандарт» були сформовані та надані для проведення тестування два канали відомчої мережі Київської філії ВАТ «Укртелеком» з відповідним обладнанням для проведення тестування у реальних умовах на діючих фізичних лініях.

На виділеній кільцевій лінії Укртелекому по м. Києву довжиною 32 км (ДП «Укрметртестстандарт» – Святошин – ДП «Укрметртестстандарт») проводилось тестування комплексу RTP на швидкостях: 2 Мб/с; 1 Мб/с; 512 Кб/с; 256 Кб/с; 64 Кб/с.

Приклади результатів вимірювань протягом 18 годин однієї доби подано на рис. 4.

Результати вимірювань на тому ж кільці протягом 7 діб подані на рис. 5.

Наступний етап тестування проводився на трасі Київ – Харків – Київ за схемою:

ДП «Укрметртестстандарт» (Київ) – Святошин (Київ) – Гребінки – Чернігів – Харків (АМТС–АТС 77–АМТС) – Чернігів – Гребінки – Святошин (Київ) – ДП «Укрметртестстандарт» (Київ). У Харкові між АМТС та АТС 77 – канал Ethernet.

Для зв'язку використані модеми типу Watson.

Ми працювали у живому корпоративному каналі з нерівномірним завантаженням протягом доби.

Результати вимірювань зі зміною швидкостей передачі на трасі Київ – Харків – Київ подано на рис. 6.

Результати вимірювань на 9-годинних інтервалах часу: подані у табл. 1.

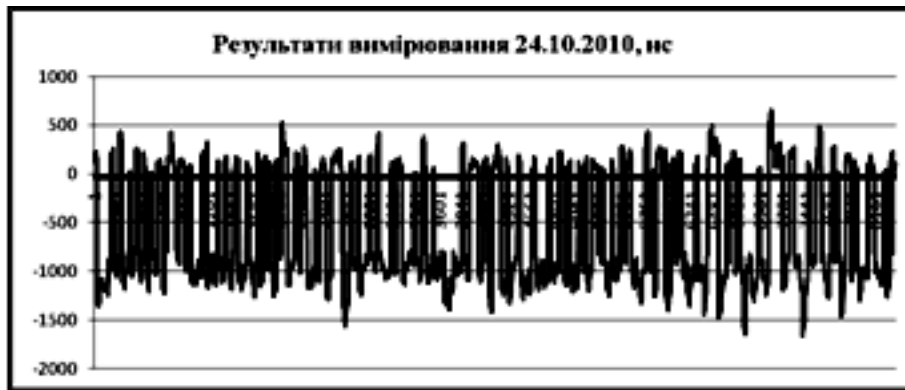


Рис. 3. Результати вимірювання 24.10.2010 під час тестування цифрової системи передачі сигналів часу за протоколом передавального часу IEEE 1588, v.2 у локальній мережі ДП «Укрметртиместандарт». Постійна складова на добовому інтервалі вимірювання – мінус 588,6 нс; СКВ – 591,2 нс



Рис. 4. Результати вимірювання під час тестування РТР комплексу на виділеній кільцевій лінії Укрметртиместандарт по м. Києву. Довжина лінії — 32 км. Вимірювання проводяться 30 раз за одну хвилину кожні 5 хвилин. Постійна складова результатів вимірювання протягом 18 годин – мінус 3,5 мкс; СКВ – 1,3 мкс.

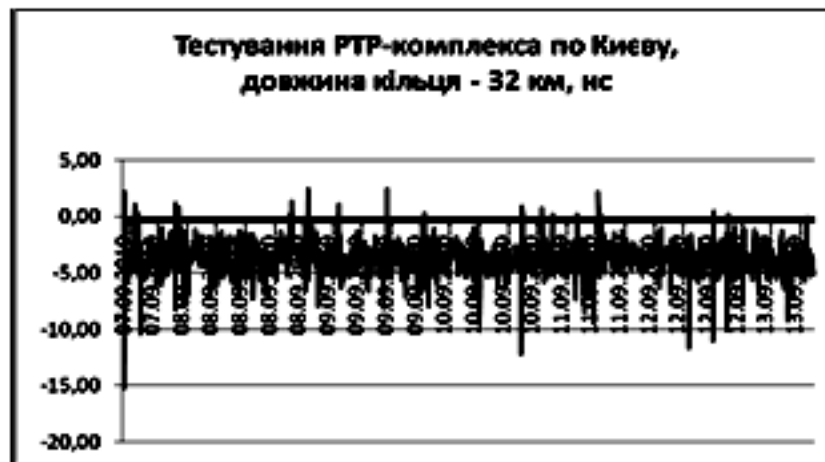


Рис. 5. Результати вимірювання під час тестування РТР комплексу на виділеній кільцевій лінії Укрметртиместандарт по м. Києву протягом 7 діб. Довжина лінії –32 км

Таблиця 1  
Результати вимірювань на 9-годинних інтервалах часу

	Швидкість 512 КБ/с	Швидкість 256 КБ/с
Постійна складова	4,9 мкс	11,8 мкс
Випадкова складова	3,6 мкс	9,3 мкс



Рис. 6. Результати вимірювання 08.11.2010 під час тестування РТР-комплексу на виділеній кільцевій лінії на трасі Київ – Харків – Київ зі зміною швидкостей передачі. Довжина траси – 800 км

З 22.11.2010 ми почали працювати через лабораторію ННЦ «Інститут метрології», де було зроблено закорочення лінії зв'язку. Затримка в лінії становила 1,5 – 2,0 мкс. В цей час корпоративна мережа Укртелекому була завантажена на 15 – 20%.

З 26.11.2010 було встановлено обладнання Master на державному первинному еталоні одиниць часу і частоти, обладнання Slave залишилось на вторинному еталоні ДП «Укрметртестстандарт». Між обладнанням – траса 400 км. «Master» почав передавати мітки часу від державного еталона, а «Slave» приймати ці сигнали і коригувати свою шкалу часу за цими мітками. Таким чином почався процес синхронізації шкал часу на швидкості у каналі 512 Кб/с.

Результати вимірювань затримок між вторинним та первинним еталонами одиниць часу і частоти контролювалось системою зовнішніх і внутрішніх звірень на вторинному еталоні за допомогою частотоміра CNT-90. Вимірювання проводились протягом доби постійно 30 раз за хвилину.

На рис. 7 – 10 подані результати вимірювань зі

зміною швидкостей у каналі з 512 Кб/с на 1 Мб/с.

На графіках рис. 7 та 8 добре видно зміну швидкостей, спосіб вимірювання затримок та втручання у канал зв'язку при зміні швидкостей передачі (викиди величиною від 25 мкс до 80 мкс). Так, на рис. 7:

до 7:37 02.12.2010: вимірювання – 1 раз на 5 хв; швидкість передачі 2 Мб/с;

від 7:37 02.12.2010: вимірювання – 1 раз на 5 хв; швидкість передачі 512 Кб/с;

від 10:11 02.12.2010 до 08:42 03.12.2010: вимірювання – 30 раз на 1 хв; швидкість передачі 512 Кб/с;

від 08:42 03.12.2010 до 13:47 03.12.2010: вимірювання – 1 раз на 5 хв; швидкість передачі 512 Кб/с;

від 13:47 03.12.2010: вимірювання – 1 раз на 5 хв; швидкість передачі 1 Мб/с.

Результати вимірювань (1 раз на 5 хв) на одно-годинних інтервалах часу подані у табл. 2.

Зміна пріоритетів не мала помітного впливу на результати спостережень.

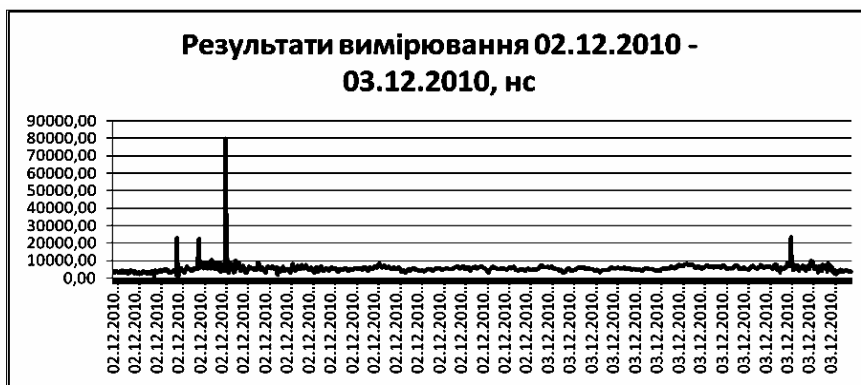


Рис. 7. Результати вимірювання 02.12.2010–03.12.2010 під час тестування РТР комплексу на виділеній лінії між первинним та вторинним еталонами одиниць часу і частоти. Довжина лінії зв'язку – 400 км

Таблиця 2

Результати вимірювань (1 раз на 5 хв) на одно-годинних інтервалах часу

	2 Мб/с, 02.12.2010 00:00– 1:00	512 Кб/с, 02.12.2010 17:00 – 18:00	1 Мб/с, 03.12.2010 15:00 – 16:00
Постійна складова	3,504 мкс	5,582 мкс	3,951 мкс
Випадкова складова	0,267 мкс	0,976 мкс	0,679 мкс

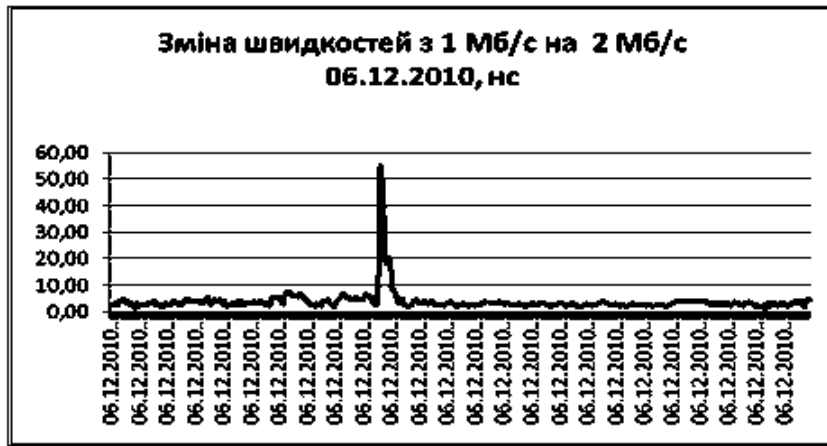


Рис. 8. Зміна швидкостей у каналі зв'язку під час тестування на виділеній лінії між первинним та вторинним еталонами одиниць часу і частоти

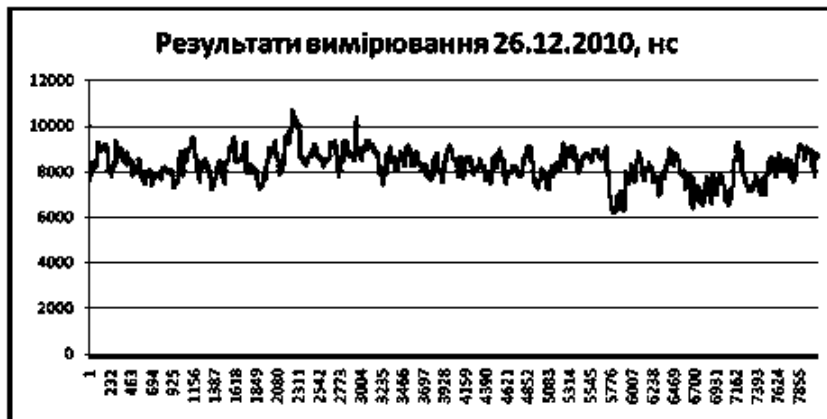


Рис. 9. Результати вимірювання затримок 26.12.2010 по каналу Ethernet. Постійна складова результатів вимірювання – 8244 нс, СКВ – 682 нс.



Рис. 10. Результати вимірювання 26.01.2011 по каналу E1. Постійна складова результатів вимірювання – 12772 нс, СКВ – 1031 нс

Наразі ведуться роботи для продовження тестування передачі сигналів за протоколом RTP у виділеному каналі телефонної мережі загального користування.

В наш час широко використовуються NTP-сервери, що працюють за Network Time Protocol. Користуючись сигналами часу NTP-сервера можна синхронізувати час з точністю від кількох мілісекунд до сотень мілісекунд [3]. Дослідження можливостей RTP - протоколу показало стабільні результа-

ти, що не перевищують 100 мкс. Друга відмінність між протоколами: коригування часу NTP-сервером проводиться тільки по запиту від «зацікавленого годинника», а за RTP - протоколом – постійно. І третя відмінність – зв'язок з NTP-сервером відбувається через мережу Інтернет, яка може вносити непередбачувану похибку у результат звірень годинників, в той час як по виділеному каналу або по каналу Ethernet можна визначити постійну складову і скомпенсувати її.

На рис. 11 (а, б) наведено приклад нестабільності передавання сигналу від шкали часу водневого

стандарту частоти Ч1-80 (з відносною похибкою по частоті не більше  $1,5 \cdot 10^{-13}$ ) через мережу Інтернет.



а



б

Рис. 11. Контроль сигналу часу від шкали часу водневого стандарту частоти Ч1-80 через мережу Інтернет на сервері kyivtime.org

## Висновок

Проведені роботи з тестування RTP-обладнання діючими каналами зв'язку мають на меті визначити оптимальні умови передачі сигналів часу споживачам в залежності від їх потреб.

## Список літератури

1. ДСТУ 2870-94 Метрологія. Вимірювання часу і частоти. Терміни і визначення.
2. IEEE Std 1588-2008 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://electronix.ru/forum/index.php?act=Attach&type=post&id=24387>.

3 Network Time Protocol Version 3 Specification, Implementation and Analysis, David L. Mills, RFC-13054, March 1992.

Надійшла до редколегії 30.08.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, доцент О.М. Величко, ДП «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів», Київ, Україна.

## ПЕРЕДАЧА ВРЕМЕНИ КАНАЛАМИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОТОКОЛА ПРЕЦИЗИОННОГО ВРЕМЕНИ (PTP) IEEE 1588, V.2

М.Я. Мухаровский, М.В. Головня, А.Д. Нижник, О.В. Никитенко, П.О. Янко

В статье представлены результаты практического исследования, определения особенностей и метрологических характеристик передачи сигналов времени действующими каналами электросвязи по протоколу прецизионного времени IEEE 1588, v.2.

**Ключевые слова:** передача шкалы времени, коррекция шкалы времени, протокол прецизионного времени (PTP – Precision Time Protocol), синхронные шкалы времени, эталон единиц времени и частоты, скорость передачи данных.

## PASSING TO TIME BY THE CHANNELS OF TELECOMMUNICATION WITH THE USE OF PROTOCOL OF PRECISION TIME (PTP) IEEE 1588, V.2

M.Ya. Mukharovskiy, M.V. Golovnya, A.D. Nizhnik, O.V. Nikitenko, P.O. Yanko

The results of practical research are presented in the article, determinations of features and metrological descriptions of passing to of signals time by the operating channels of telecommunication on protocol of precision time IEEE 1588, v.2.

**Keywords:** passing to of scale time, correction of scale of time, protocol of precision time (PTP – Precision Time Protocol), synchronous scales of time, standard of time and frequency units, data rate.