

Дзисюк О.В., Бойко В.М., Гаврилов А.Б., Рарог Р.М., Солдатов В.В.,
Шуригін О.В., Матвієнко М.В., Світенко М.І.

РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО СТВОРЕННЮ ПЕРШОЇ ЧЕРГИ ПІДСИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДИНИМ ЧАСОМ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Перехід до мереж зв'язку нового покоління з побудовою єдиного інформаційного простору (формування Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил (С4ISR) та інтеграція до неї автоматизованих систем усіх видів та спеціальних військ, у якому послуги зв'язку доповнюються іншими послугами обробки інформації, такими як: накопичення, зберігання, обробка та пошук необхідної інформації, зумовлює використання асинхронних технологій передачі даних – Ethernet (в ЗС країн партнерів це так званий тактичний інтернет) [1]. При використанні зазначених технологій значної уваги потребує вибір способу та технології синхронізації пристроїв, що функціонують у мережі. З огляду на те, що в мережах Ethernet використовується комутація пакетів, яка, спираючись на статистичні властивості розповсюдження пакетів даних по асинхронним каналам передачі, руйнує попередньо синхронізований потік даних, передавання сигналів синхронізації в таких мережах відокремлюється в окрему задачу – досягнення єдиного часу у всіх пристроях розгалуженої мережі [2].

Однією з найважливіших вимог до автоматизованих систем управління (АСУ), побудованих на основі сучасних цифрових систем зв'язку, є підтримка в комп'ютерному середовищі єдиного часу, синхронізованого зі шкалою всесвітнього координованого часу. Це необхідно для безпомилкового обміну інформаційними потоками, точної фіксації подій та аварійних ситуацій у процесі функціонування АСУ. Для реалізації в комп'ютерному середовищі єдиного часу за допомогою програмно-апаратних засобів на практиці створюються сервери часу, що забезпечують часо-частотну синхронізацію із точним зовнішнім еталоном часу UTC [2].

Як показують останні дослідження, з урахуванням специфіки роботи пакетних мереж, у якості перспективного методу синхронізації у збройних силах країн НАТО застосовуються двосторонні мережеві протоколи – NTP (NetworkTimeProtocol) та PTP (Precision TimeProtocol) [3–6]. При цьому, в останні роки переваги набув протокол PTP (стандарт IEEE 1588v2, 2008 року), що забезпечує більш високу

точність та в більшій мірі адаптований під завдання, що вирішуються із застосуванням інформаційно-телекомунікаційних мереж [5–7].

Питання контролю та управління передаванням еталонних сигналів часу та частоти, які використовуються ЗС України, відповідно до [8] покладені на МЦВЕ ЗС України. Цілком природно, що при розбудові військового сегмента Служби єдиного часу та еталонних частот, на перший план виходять завдання як побудови системи передавання еталонних сигналів часу та частоти, так і створення відповідної системи контролю точностних характеристик. В межах науково-технічної діяльності в МЦВЕ ЗС України проведено низку досліджень в напрямку розбудови військового сегменту служби єдиного часу та еталонних частот та отримані обнадійливі наукові й практичні результати. Таким чином, інформація висвітлює результати наукових досліджень, реалізація яких дозволила побудувати першу чергу підсистеми забезпечення єдиним часом інформаційно-телекомунікаційних систем ЗС України.

В 2015 – 2019 роках МЦВЕ ЗС України проводилися наукові дослідження, об'єктом яких була система забезпечення єдності частотно-часових вимірювань в Збройних Силах України з використанням глобальних навігаційних супутникових систем та оптоволоконних мереж, а також шляхи розвитку військового сегменту Служби єдиного часу та еталонних частот.

Відповідно до [8] державну систему контролю та управління еталонними сигналами складають технічні засоби Національного наукового центру “Інститут метрології”, Метрологічного центру військових еталонів Збройних Сил України, які забезпечують контроль і управління передаванням еталонних сигналів та інформаційне обслуговування споживачів таких сигналів.

Для передавання еталонних сигналів від Національного еталона часу та частоти до ВЕЗСУ 07-01-01-09 та далі до споживачів ЗС України, які забезпечують функціонування складових АСУ різного рівня, був обраний найпоширеніший метод доставки сигналів синхронізації часу – їх передача пакетними мережами за допомогою протоколу PTP IEEE 1588v2 [5–7, 9, 10] (рис. 1).



Рис. 1. Структурна схема доставки еталонних сигналів за протоколом PTP IEEE 1588v2

Для забезпечення практичних кроків реалізації синхронізації часу шляхом їх передачі пакетними мережами за допомогою протоколу PTP IEEE 1588v2 дослідження [11] були спрямовані на отримання наступних результатів:

1. Сформовані вимоги до військового вторинного еталону України одиниць часу та частоти, вимоги до спеціалізованого програмного забезпечення та розроблений і виготовлений мобільний стандарт

часу та частоти для його застосування у якості провідної міри ВЕЗСУ 07-01-01-09.

Практичною реалізацією наукових досліджень, виконаних в межах НДР [11], став створений сучасний еталонний комплекс для відтворення еталонних сигналів часу та частоти, зберігання та ведення шкали часу (ВЕЗСУ 07-01-01-09), а також передачі еталонних сигналів часової синхронізації до споживачів (рис. 2).

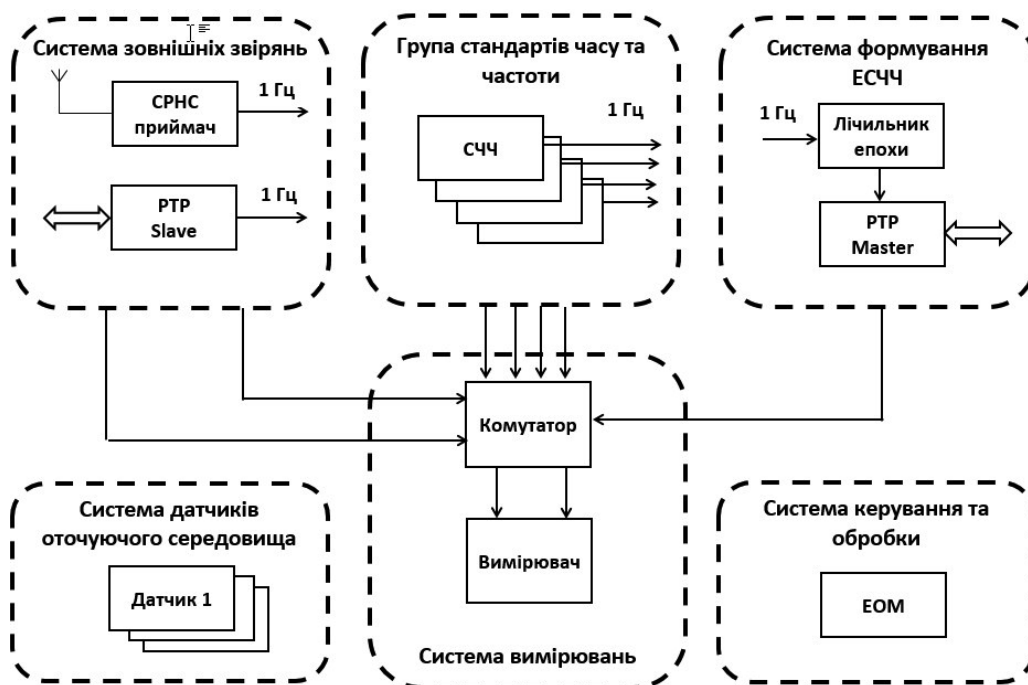


Рис. 2. Структурна схема еталонного комплексу часу та частоти ВЕЗСУ 07-01-01-09

Структурно еталонний комплекс складається з наступних систем:

система зовнішніх зв'язів, яка забезпечує синхронізацію ВЕЗСУ 07-01-01-09 відносно національного еталона та контроль положення шкали часу ВЕЗСУ 07-01-01-09 відносно сигналів різних ГНСС;

група стандартів часу та частоти, яка безпосередньо відтворює та зберігає одиниці часу та частоти, на основі даних про різниці частот даних стандартів розраховується аналітична групова шкала часу;

система формування еталонних сигналів часу та частоти (ЕСЧЧ), яка на основі сигналів від групи

стандартів та даних про параметри аналітичної групової шкали часу формує сигнали ЕСЧЧ для споживачів;

система вимірювань, яка призначена для отримання інформації про співвідношення в часі сигналів частотою 1 Гц від різних джерел;

система датчиків параметрів оточуючого середовища, яка призначена для контролю зовнішніх впливів на апаратуру еталона;

система керування та обробки (ЕОМ) безпосередньо здійснює керування системами еталона, накопичує та обробляє дані.

2. Виконані експериментальні дослідження щодо підтвердження можливості дистанційного калібрування ВЕЗСУ 07-01-01-09 за допомогою ГНСС та синхронізації шкал часу через оптоволоконні канали за допомогою протоколу РТР IEEE 1588v2.

3. Виконані експериментальні дослідження щодо визначення точностних характеристик системи формування еталонних сигналів часу та частоти (ЕСЧЧ) як системи часової синхронізації із використанням РТР протоколу для її застосування в телекомунікаційних мережах, які використовуються

Збройними Силами України. Експериментальні дослідження проводилися на базі Метрологічного центру військових еталонів ЗС України (МЦВЕ ЗСУ) (м. Харків) та ДП «Укрметртестстандарт» (м. Київ). Під час експерименту проводились тестування системи синхронізації єдиного точного часу (часової синхронізації) між Вторинним еталоном одиниць часу і частоти ВЕТУ 07-01-03-10 та ВЕЗСУ 07-01-01-09.

При проведенні експерименту використовувалось наступне обладнання:

вторинний еталон одиниць часу і частоти (далі – ВЕТУ 07-01-03-10) (в якості джерела еталонного сигналу для РТР-master);

засіб синхронізації УС-1588 (РТР-master);

засіб синхронізації УС-1588 (РТР-slave);

засіб порівняння двох PPS-сигналів (частотомір CNT-90);

GPS-приймач (в якості джерела еталонного сигналу для РТР-slave).

Для транспортування цифрових сигналів синхронізації була побудована оптоволоконна мережа між Харковом та Києвом. Схема побудованої ВОЛЗ наведена на рис. 3.

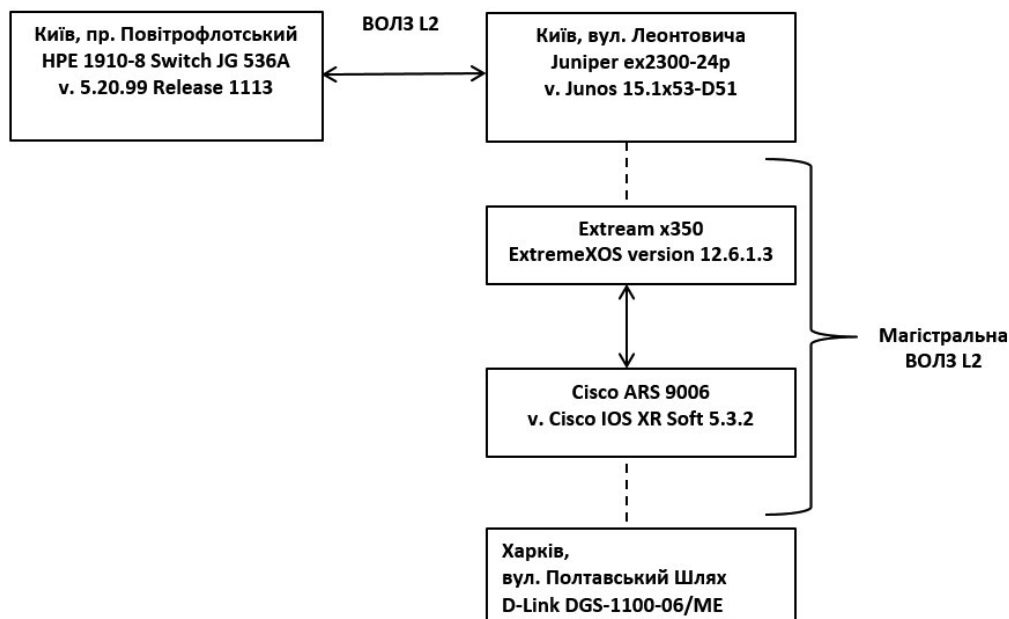


Рис. 3. Схема побудованої ВОЛЗ для проведення експерименту та подальшого надання послуг із синхронізації

Експериментальні дослідження [11] підтвердили можливість передавання еталонних сигналів часової та частотної синхронізації із застосуванням сучасних цифрових та оптоволоконних технологій від Національного еталону одиниць часу та частоти до ВЕЗСУ 07-01-01-09 із похибкою, що не перевищує 1 мкс. А також від ВЕЗСУ 07-01-

01-09 до споживачів еталонних сигналів із похибкою, що не перевищує 10 мкс на відстань 600 км по оптоволоконному каналу зв'язку рівня L2. Розроблені технічні вимоги щодо створення відповідного комплексу апаратури контролю та управління передаванням еталонних сигналів, що використовуються Збройними Силами України.

Отримані результати вимірювального експерименту по визначенню розбіжностей переданої за протоколом РТР шкали часу ВЕТУ 07-01-03-10 і ВЕЗСУ 07-01-01-09 доводять можливість зв'язу еталонів одиниць часу та частоти та ведення групової шкали часу її територіально розподілених зберігачів. Однак сервера точного часу (засіб синхронізації УС-1588) не забезпечують оперативний контроль точності сигналів часу, не відповідають вимогам інформаційної захищеності, використовують недосконалі алгоритми функціонування. Тому в подальшому використанні сервери точного часу Microsemi (Microchip) Time Provider 4100 [5].

На підставі розробленої математичної моделі системи передавання еталонних сигналів часу та

частоти до споживачів від вторинного еталону одиниць часу та частоти [11] показано, що за умови застосування споживачами вимірювачів інтервалів часу та направлення результатів вимірювань розбіжностей шкали часу опорного стандарту та шкали часу ГНСС до системи обробки вимірювальної інформації еталонного комплексу ВЕЗСУ 07-01-01-09 можливо організувати оцінювання точності передавання розміру одиниці часу на всіх вузлах мережі системи передавання еталонних сигналів.

Місце системи контролю та управління передаванням еталонних сигналів в системі часо-частотного забезпечення ЗС України, суб'єкти та завдання з контролю та управління наведені на рис. 4.



Рис. 4. Місце системи контролю та управління передаванням еталонних сигналів в системі часо-частотного забезпечення ЗС України, суб'єкти та завдання з контролю та управління

Основними проблемами при вирішенні завдань передавання, контролю та управління передаванням еталонних сигналів часу та частоти є:

відсутність (прийнятої на озброєння) технічної системи передавання, контролю і управління передаванням еталонних сигналів від вихідного еталона Збройних Сил України одиниць часу та частоти (ВЕЗСУ) до споживачів;

відсутність системи контролю навігаційно-часового поля ГНСС, апаратура споживачів яких використовується, як в системах часової

синхронізації, так і системами, зразками та комплексами ОВТ для рішення навігаційних завдань.

У якості основних засобів військового сегменту Служби єдиного часу та еталонних частот для забезпечення послугами єдиного часу розглядаються:

виділена оптоволоконна мережа;
засоби реалізації протоколів передавання еталонних сигналів часу;
засоби контролю (моніторингу) та управління передаванням;

годинники з відліком часу;
засоби фіксації точного часу;
засоби забезпечення безпеки.

У якісному сенсі основними вимогами до засобів забезпечення послугами єдиного часу є:

вимоги щодо точності;
вимоги щодо стабільності;
вимоги із заданої чисельності програмно-апаратних засобів;

вимоги з вартості системи з урахуванням навантаження (кількості підключених систем АСУ спеціального призначення);

вимоги з ефективності та стійкості системи для АСУ різних систем та ланцюгів управління.

Загальну схему першої черги системи передавання еталонних сигналів наведено на рис. 5.

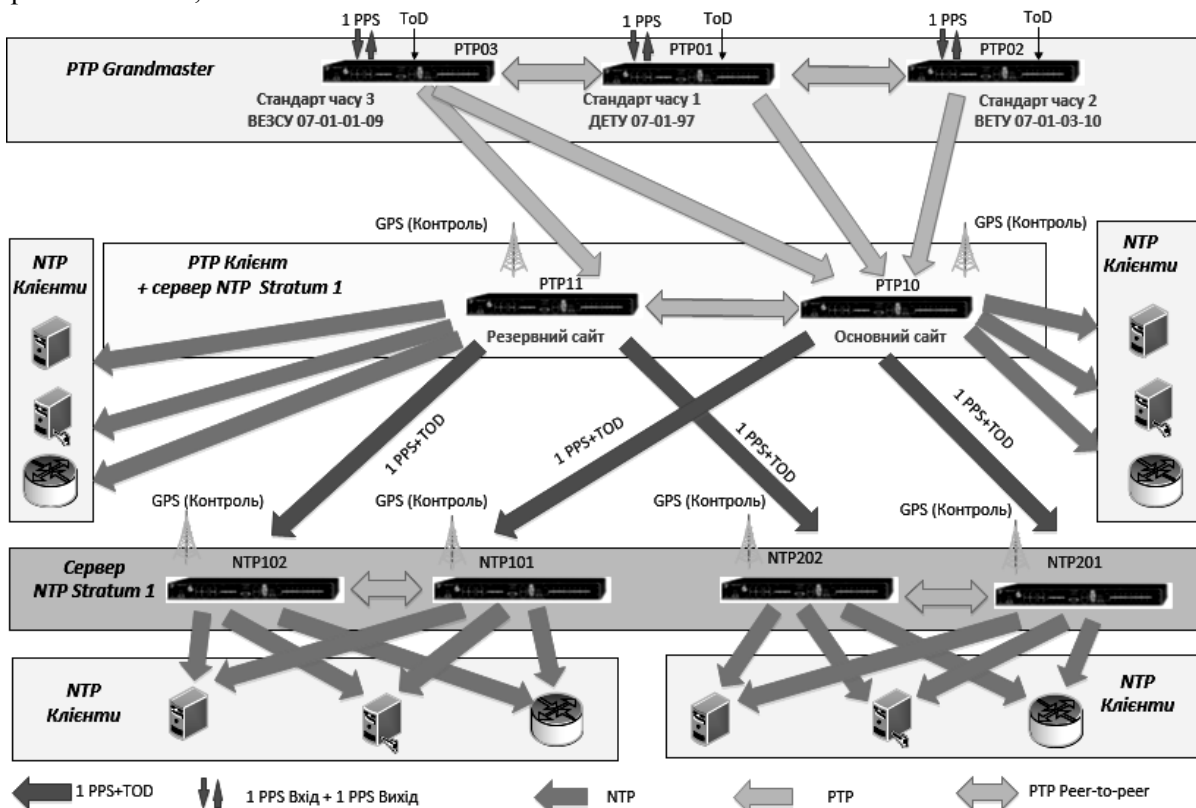


Рис. 5. Схема передавання еталонних сигналів часо-частотної синхронізації із використанням PTP протоколу та телекомунікаційної мережі ВОЛЗ

Основні результати досліджень опубліковані в [12].

В 2018 – 2019 роках роботи були продовжені у напрямку дослідження сучасного стану та перспектив розвитку військового сегменту Служби єдиного часу і еталонних частот та розробки пропозицій щодо створення системи метрологічного контролю та управління еталонними сигналами, що використовуються Збройними Силами України [13].

Результатами досліджень стали: фактично створена технічна складова підсистеми надання цілодобового сервісу точного часу для застосування у телекомунікаційних системах ЗС України. Експериментально підтверджена можливість та створена перша черга системи контролю та управління передаванням еталонних сигналів часу та частоти в межах частотно-часового забезпечення Збройних Сил України. Розроблено тактико-

технічне завдання на створення промислового зразка апаратури контролю та управління передаванням еталонних сигналів часу та частоти в Збройних Силах України. Обґрунтовані пропозиції з необхідності розробки нормативних документів подальшого функціонування системи контролю та управління передаванням еталонних сигналів часу та частоти, що використовується ЗС України та іншими військовими формуваннями [13].

Підсистема забезпечення єдиним часом побудована на базі національного еталону часу та частоти, вихідного еталону часу та частоти Збройних Сил України (ВЕЗСУ 07-01-01-09) із застосуванням серверів точного часу Microsemi Time Provider 4100 [5] та волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) для передачі сигналів синхронізації часу за протоколами PTP та NTP по пакетним мережам передачі даних – Ethernet до військових споживачів.

Сервіс надання точного часу військовим споживачам, який синхронізований з національною шкалою координованого часу UTC(UA), побудований таким чином, щоб уникнути прямої залежності ВЕЗСУ 07-01-01-09 від національного еталону часу та частоти та закордонних глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) [14], а також бути відокремленим на апаратному рівні

від всесвітньої мережі загального користування Інтернет.

Підсистема єдиного часу функціонально входить до військового сегменту Служби єдиного часу та еталонних частот [8]. В загальному вигляді підсистема забезпечення єдиним часом, що досліджувалась, наведена на рис. 6.

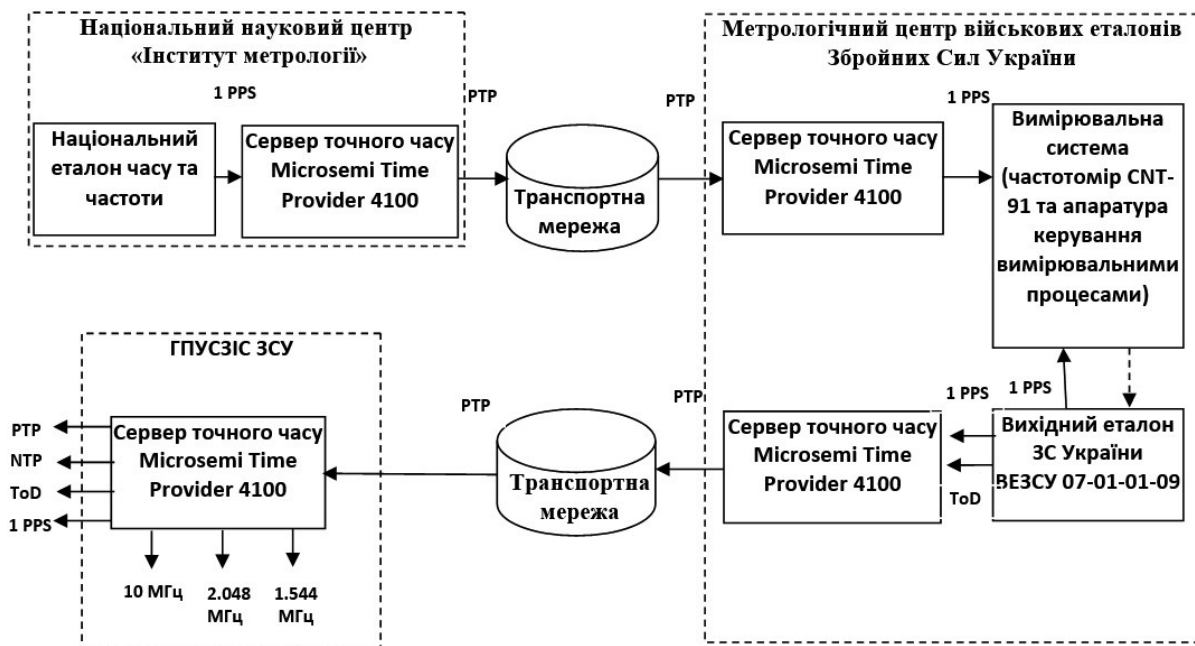


Рис. 6. Структурна схема побудови першої черги підсистеми забезпечення єдиним часом споживачів Збройних Сил України

Для побудови підсистеми єдиного часу застосовано серверне обладнання у якості чотирьох серверів точного часу (PTP/NTP) Microsemi (Microchip) Time Provider 4100, цезієвий стандарт частоти HP 5071A зі складу національного еталону часу та частоти, мобільний стандарт часу та частоти рубідієвий FS-017 зі складу ВЕЗСУ 07-01-01-09, ВОЛЗ рівня L2 (рис. 3), яка була перекомутована на Головний пункт управління системою зв'язку та інформаційних систем Збройних Сил України (ГПУСЗІС ЗСУ).

Сервер точного часу Microsemi (Microchip) Time Provider 4100 розташований в Національному науковому центрі «Інститут метрології» на Національному еталоні часу та частоти й працює в режимі провідного сервера PTP (грандмастера PTP). В МЦВЕ ЗСУ розташовані два сервери точного часу Microsemi (Microchip) Time Provider 4100, один з яких є веденим сервером PTP (PTP клієнт для провідного сервера PTP Національного еталона часу та частоти).

Лінія зв'язку між Національним еталоном часу та частоти і МЦВЕ ЗСУ служить для звірення координованої шкали часу UTC(UA) та автономної

шкали часу ВЕЗСУ 07-01-01-09 МЦВЕ ЗСУ. Звірення шкал часу здійснюється за допомогою вимірювальної системи, що складається з частотоміра CNT-91 та апаратури керування вимірювальними процесами, яка здійснює обробку даних вимірювання поточної різниці часу між шкалами.

Другий сервер точного часу Microsemi (Microchip) Time Provider 4100, встановлений в МЦВЕ ЗСУ, працює в режимі провідного сервера PTP (грандмастера PTP) ВЕЗСУ 07-01-01-09 і забезпечує формування сигналів синхронізації часу за протоколом PTP згідно рекомендацій ITU-T G.8275.2 [15] для веденого сервера точного часу Microsemi (Microchip) Time Provider 4100, розташованого в ГПУСЗІС ЗСУ. Обмін пакетами синхронізації часу за протоколом PTP між провідним сервером PTP ВЕЗСУ 07-01-01-09 і веденим сервером точного часу ГПУСЗІС ЗСУ здійснюється по магістральній міжміській транспортній оптичній мережі (рис. 3).

Таким чином, лінія зв'язку між Національним еталоном часу та частоти і МЦВЕ ЗСУ забезпечує звірення координованої шкали часу UTC(UA)

та автономної шкали часу ВЕЗСУ 07-01-01-09 за протоколом РТР. МЦВЕ ЗСУ забезпечує зберігання автономної шкали часу, звіреної з координованою шкалою часу UTC(UA) і передачу сигналів синхронізації часу за протоколом РТР по магістральній оптичній лінії зв'язку між МЦВЕ ЗСУ і ГПУСЗІС ЗСУ.

Для оцінки метрологічних характеристик підсистеми була організована її дослідна експлуатація. Протягом дослідної експлуатації здійснювалися поточні вимірювання похибки часу (Time Error – TE) між еталонною шкалою часу, джерелом якої є сигнал синхронізації часу глобальної навігаційної системи GPS та вихідних сигналів синхронізації ведених серверів РТР. Для визначення похибки, що вносить безпосередньо лінія зв'язку при різному її навантаженні, проводилося вимірювання похибки синхронізації часу, зафіксованого мітками часу в пакетах обміну

між РТР провідним сервером та веденим РТР сервером (РТР клієнтом).

Результатом вимірювань є різниця шкал часу (ШЧ), одна з яких попередньо синхронізована з опорною (еталонною) ШЧ з реєстрацією результату порівняння ШЧ при багаторазовому автоматичному повторенні вимірювань. В результаті аналізу даних вимірювань визначаються: середнє значення різниці ШЧ (сТЕ) та максимальне значення похибки відхилення часового інтервалу (MTIE). Остаточний результат вимірювань – максимальне сумарне абсолютне значення похибки часу ($\max|TE|$), яке проводиться згідно рекомендацій ITU-T G.8271.1 [16] на виходах 1PPS обладнання синхронізації кінцевого споживача, тобто в даному випадку на виходах 1PPS ведених РТР серверів МЦВЕ ЗСУ та ГПУСЗІС ЗСУ.

Схема вимірювань, згідно рекомендацій ITU-T G.8271.1 наведена на рис. 7.

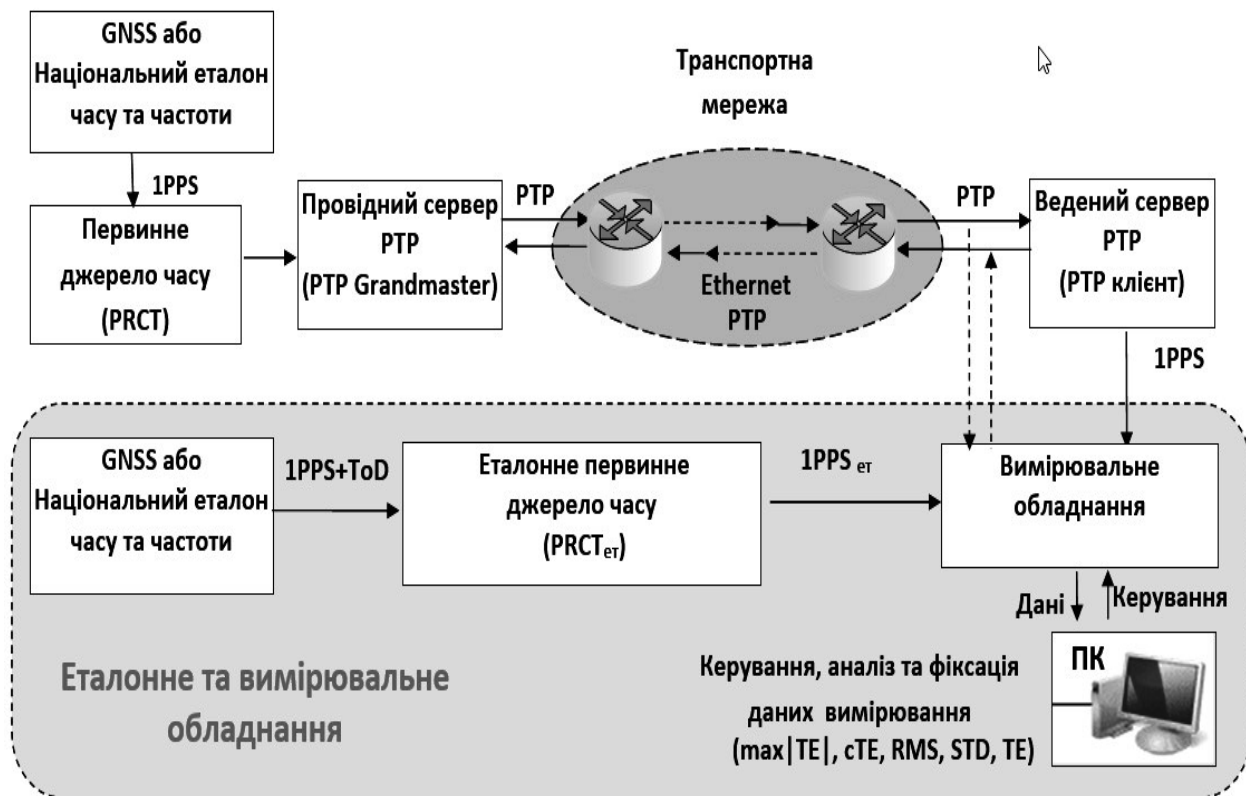


Рис. 7. Схема вимірювання різниці шкали часу обладнання кінцевого споживача (РТР клієнт) відносно шкали часу UTC при передачі сигналів синхронізації часу та частоти за протоколом РТР

Результати вимірювання точності передавання шкали часу до веденого РТР сервера (РТР клієнта)

при його штатному функціонуванні наведені на рис. 8.

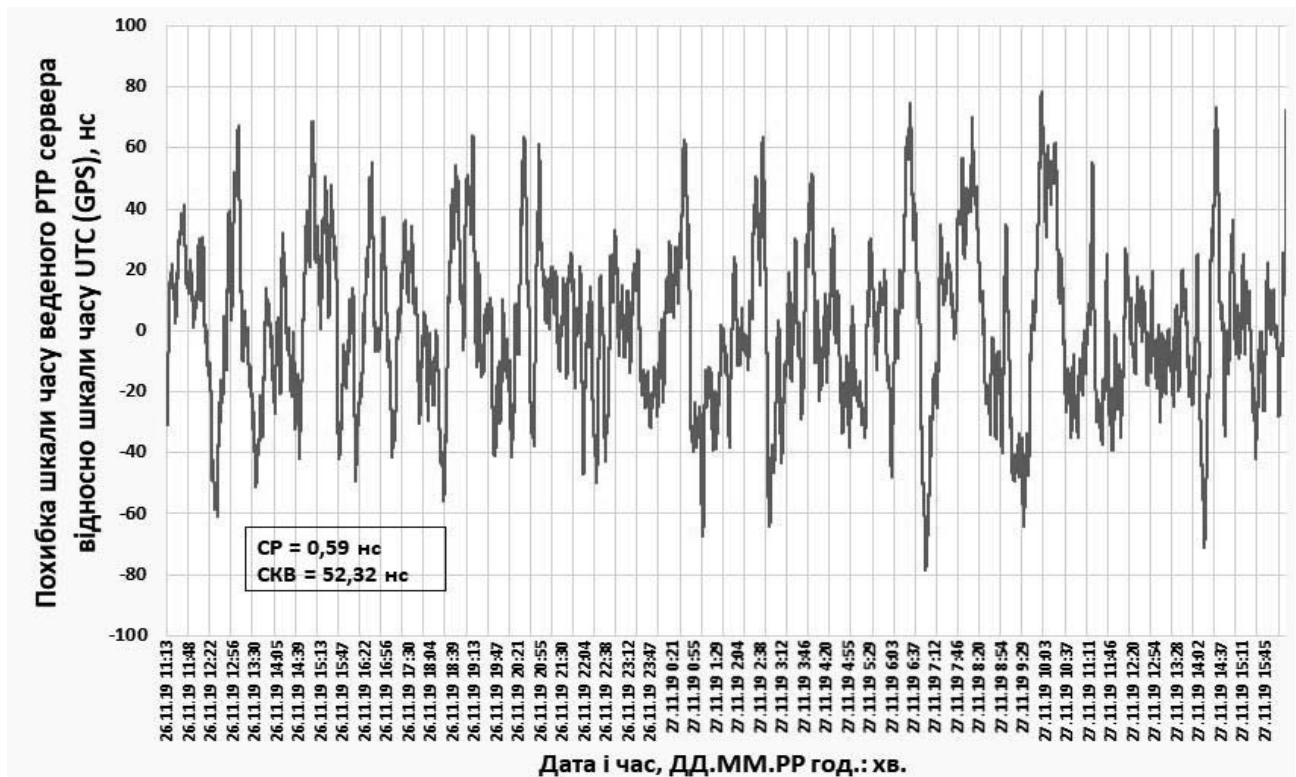


Рис. 8. Точнісні характеристики сигналу синхронізації 1 PPS на веденому сервері

Основні результати досліджень при проведенні дослідної експлуатації першої черги підсистеми забезпечення єдиним часом інформаційно-телекомунікаційних систем ЗС України наведені в [17].

Результати, які отримані під час дослідної експлуатації першої черги підсистеми забезпечення єдиним часом інформаційно-телекомунікаційних систем ЗС України, дозволили зробити наступні висновки:

1. Сервер точного часу Microsemi (Microchip) TimeProvider 4100, включений у режимі веденого РТР сервера (РТР клієнта), дозволяє отримати від національного еталону одиниць часу та частоти з визначеною точністю мітки часу шкали координованого часу UTC(UA) для відповідної синхронізації ВЕЗСУ 07-01-01-09.

2. Сервер часу Microsemi (Microchip) TimeProvider 4100, включений у режимі РТР-мастер, забезпечує цілодобове передавання від ВЕЗСУ 07-01-01-09 до Головного пункту управління системою зв'язку та інформаційних систем ЗС України еталонних сигналів часу за протоколом РТР.

3. Вбудована в сервер часу Microsemi (Microchip) TimeProvider 4100 система керування та моніторингу, а також їх програмне забезпечення дозволяють як дистанційно керувати роботою

серверу, так і контролювати в реальному часі точність отримуваних ними сигналів синхронізації з встановленням порогових значень аварійної сигналізації. Функція автоматичної компенсації асиметрії сервера часу Microsemi (Microchip) TimeProvider 4100 запобігає виникненню похибки синхронізації часу при зміні конфігурації мережі і забезпечує високу точність синхронізації часу.

4. Середньоквадратичне відхилення (СКВ) від середнього значення еталонного сигналу частоти 1 PPS серверу вузла зв'язку (м. Київ) на інтервалі спостереження 30 діб (з урахуванням кожендобового включення серверів, що розташовані в МЦВЕ ЗС України) не перевищило 100 нс. При безперервному режимі роботи (2 доби) СКВ становило 52,32 нс.

5. Логіка керування сервером Microsemi (Microchip) TimeProvider 4100 зрозуміла та відповідає Керівництву користувача.

6. Схема побудови першої черги підсистеми сервісу надання точного часу в межах функціонування військового сегменту Служби єдиного часу та еталонних частот дозволяє забезпечити цілодобовий сервіс надання точного часу, синхронізованого з національною шкалою координованого часу UTC(UA) без використання закордонних ГНСС. ГНСС використовуються тільки у якості резерву другого ешелону та у якості опорних сигналів системи контролю.

7. Вкрай важливим залишається питання визначення організаційно-штатної структури військового сегменту Служби єдиного часу та еталонних частот та регламентації взаємодії зі всіма суб'єктами підсистеми забезпечення єдиним часом.

Наступним кроком в дослідженнях було визначення ключових вимог сталого функціонування підсистеми забезпечення єдиним часом інформаційно-телекомунікаційних систем спеціального призначення. Основними з таких вимог є незалежність підсистеми забезпечення єдиним часом від шкал часу ГНСС та мережі Internet. Ці вимоги були враховані при визначенні загальних вимог до засобів контролю та управління передавання еталонних сигналів часу та частоти.

При організації функціонування підсистеми забезпечення єдиним часом інформаційно-телекомунікаційних систем спеціального

призначення із необхідністю забезпечення незалежності від шкал часу ГНСС та мережі Internet, а також виходячи з вимог до її автономності від національного еталону, потребувала вирішення технічна задача формування шкали часу серверів Microsemi (Microchip) Time Provider 4100 із використанням сигналу Time of Day (ToD). Під час подальших досліджень був визначений спосіб формування сигналу типу ToD при використанні серверу точного часу Microsemi (Microchip) Time Provider 4100 та досліджені точнісні характеристики розробленого технічного пристрою.

Оскільки TP4100 (рис. 9) має функцію моніторингу точності сигналів синхронізації часу з встановленням порогів аварійної сигналізації, то доцільно використати власний ГНСС приймач TP4100 в якості опорного сигналу для здійснення постійного контролю за наявністю та точністю різних сигналів синхронізації часу.

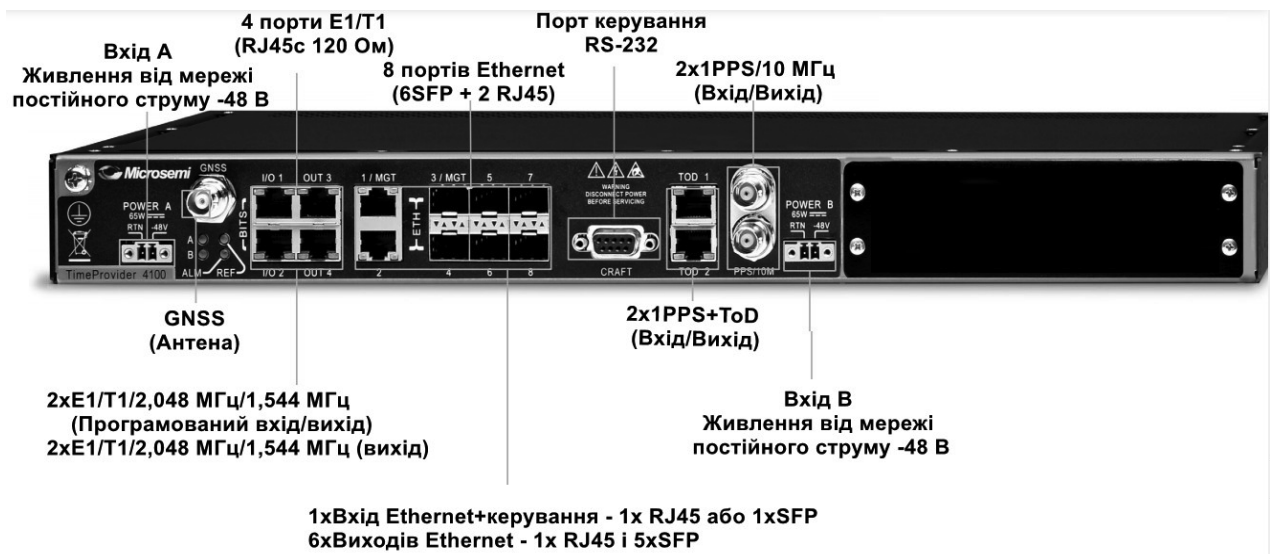


Рис. 9. Сервер точного часу Microsemi (Microchip) Time Provider 4100

Було розглянуто декілька варіантів побудови пристрою, який здатен сформувати сигнал 1PPS+ToD для синхронізації мастерсерверу Microsemi (Microchip) Time Provider 4100.

Загальними вимогами для такого пристрою є: здатність формувати сигнал 1PPS+ToD у повній відповідності до стандартизованого опису інтерфейсу «1PPS ITU-T V.11 interface»;

використання сигналу 1PPS від зовнішнього (автономного) джерела шкали часу;

мінімальне спотворення сигналу 1PPS при проходженні через пристрій (допускається адитивний зсув в часі, який можна оцінити та компенсувати);

формування послідовного коду ToD у відповідності до зовнішньої шкали часу (1PPS), здатність зберігати внутрішню шкалу при комутаціях.

В першому варіанті побудови пристрою передбачалося використовувати програмне формування коду TOD на базі ПЕОМ зі складу еталона ВЕЗСУ 07-01-01-09.

Створити опорний сигнал 1PPS+ToD можна на порту RS232 ПК (сервера формування шкали часу), як зображено на схемі (рис. 10). При цьому код часу та дати сигналу ToD необхідно сформувати синхронно після появи вхідного сигналу 1PPS через 0,1 мс.

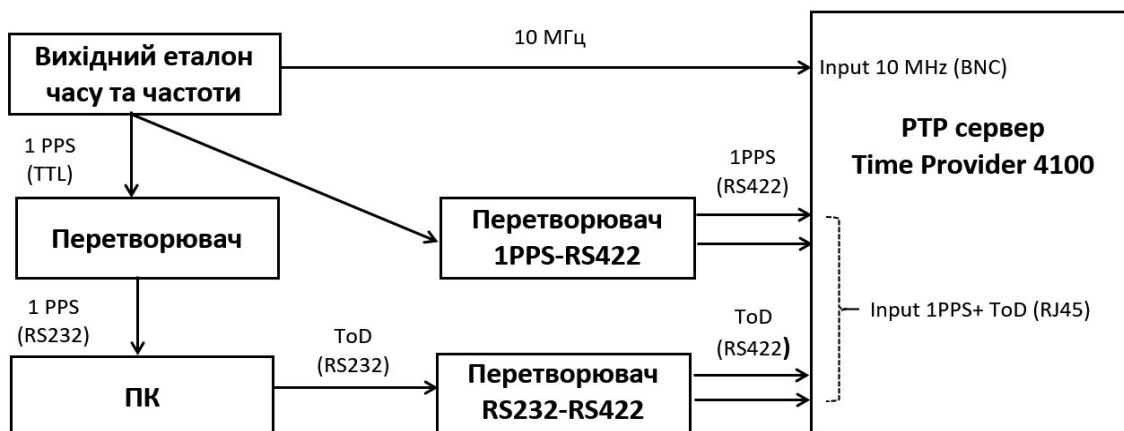


Рис. 10. Формування сигналу 1PPS+ToD на порту RS232 ПК

Як показали випробування першого варіанту побудови пристрою, цій схемі притаманні нестабільність формування саме часових співвідношень сигналів 1PPS+ToD і, як наслідок, спотворення роботи серверу Time Provider 4100 з такими сигналами. Причинами недоліків являвся гнучкий програмний метод формування ToD та неповна відповідність електричного інтерфейсу перетворювачів RS232 – RS422 специфікації.

Для запобігання вказаної нестабільності було розроблено іншу схему пристрою. Основою цієї схеми стало використання у якості зберігача робочої (зовнішньої) шкали часу синхронізатору типу Ч7-37. Цей прилад здатен формувати сигнал 1PPS та видавати інформацію про час, що відповідає імпульсу сигналу 1PPS, у вигляді паралельного двійково-десятькового коду (за зовнішнім запитом). Структурну схему пристрою наведено на рис. 11.

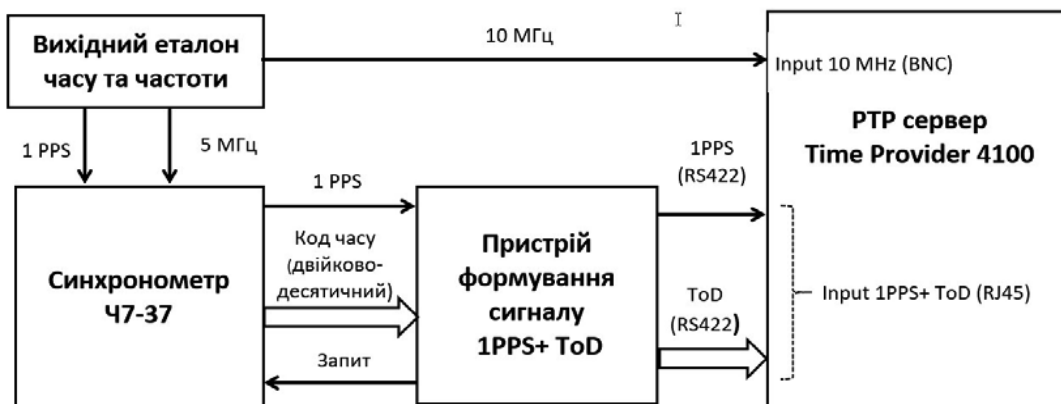


Рис. 11. Структурна схема пристрою формування сигналу 1PPS+ToD від синхронізатору типу Ч7-37

Пристрій формування 1PPS+ToD складається з перетворювача паралельного коду в послідовний, формувача вихідних сигналів, блоку годинника реального часу (DS3231), блоку індикації та мікроконтролера (ATmega328). При надходженні сигналу 1PPS від Ч7-37 він передається через формувач вихідних сигналів з затримкою, що не перевищує 2 – 3 нс, до Time Provider 4100, водночас запускається внутрішній таймер мікроконтролера та формується запит на отримання паралельного двійково-десятькового коду від синхронізатору Ч7-37. Після отримання вказаного коду та його пере-

творення в послідовний код за допомогою зсувного регістру, мікроконтролер очікує спрацювання таймера через 100 мс, а потім видає на необхідній швидкості передавання (9600 Бод) послідовний код до формувача вихідних сигналів і далі до Time Provider 4100.

Результати дослідження точності синхронізації шкали часу серверу Microsemi (Microchip) Time Provider 4100 за допомогою пристрою формування сигналу TOD+1PPS із використанням синхронізатору Ч7-37 наведені на графіку (рис. 12).

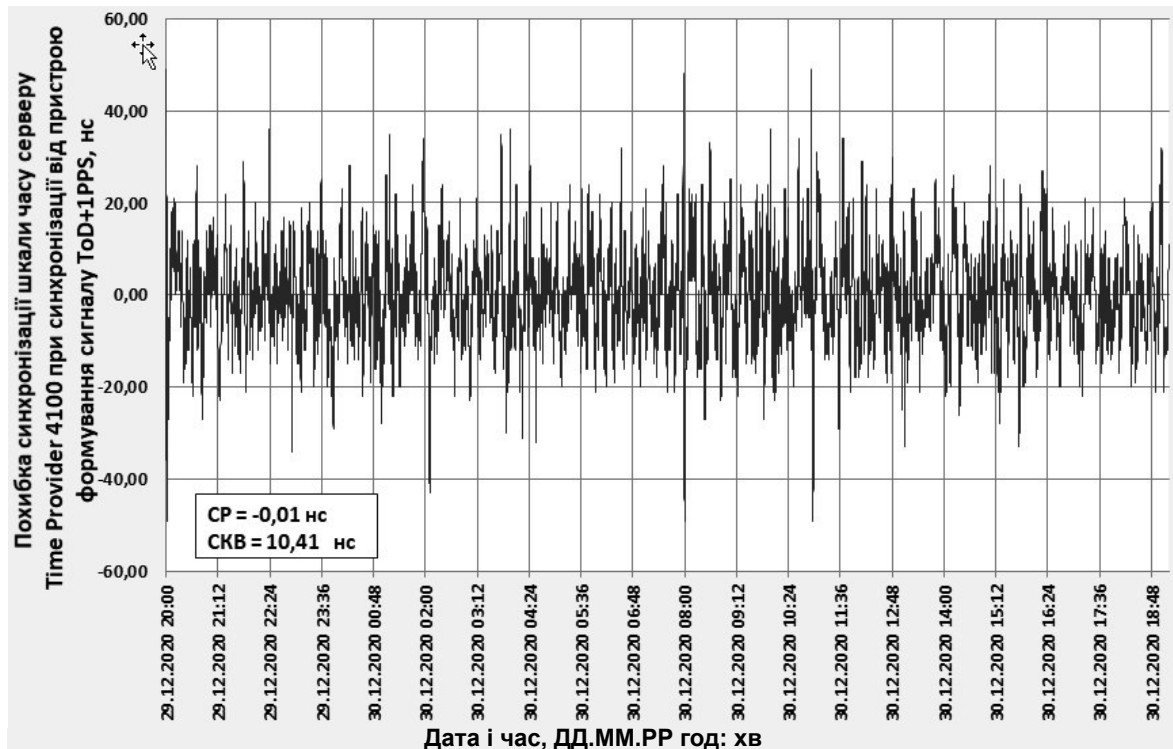


Рис. 12. Результати досліджень точності синхронізації шкали часу серверу Microsemi (Microchip) Time Provider 4100 за допомогою пристрою формування сигналу ToD+1PPS

За результатами досліджень встановлено, що протягом зазначеного інтервалу середня похибка синхронізації часу становить 0,27 нс, СКВ середньої похибки синхронізації становить 9,59 нс.

Враховуючи, що сучасні рубідієві модулі дають можливість керувати затримкою вихідного сигналу 1 PPS в достатньо великих межах, було розроблено

аналогічний пристрій, який вбудовується програмно і апаратно в мобільний стандарт часу та частоти FS-017.

Результати дослідження точностних характеристик пристрою, вбудованого в мобільний стандарт часу та частоти FS-017, наведено на рис. 13.

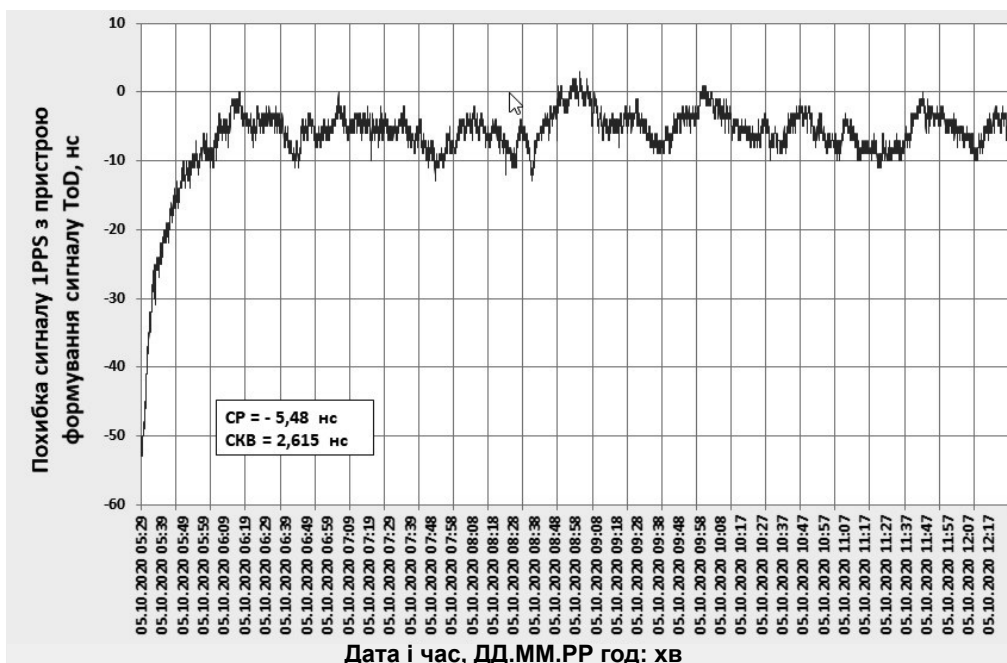


Рис. 13. Результати вимірювань сигналу 1PPS з пристрою формування сигналу ToD

Таким чином було розроблено та досліджено пристрій формування сигналу 1PPS+ToD, який задовольняє вимогам, що наведені вище.

Ці дослідження та створена перша черга підсистеми забезпечення єдиним часом інформаційно-телекомунікаційних систем Збройних Сил України є основою для подальшої розбудови незалежної від GNSS (зважаючи на їх вразливість) системи синхронізації часу в оборонному секторі Служби єдиного часу і еталонних частот. Результати досліджень доцільно використати при розробці та впровадженні аналогічних систем в інших критичних до точності часу галузях. Зростаючи з кожним днем вимоги до точності синхронізації часу в оборонному секторі зумовлюють необхідність подальшого розширення та удосконалення цієї підсистеми ЗС України та системи метрологічного контролю та управління еталонними сигналами, що використовуються Збройними Силами України. Використання сучасного обладнання і нових технологій в підсистемі синхронізації часу та системі метрологічного контролю забезпечить повну, надійну і точну синхронізацію часу систем Збройних Сил України по всій території України.

З метою подальшого підвищення точності синхронізації часу в кінцевих вузлах підсистеми до 10 нс доцільно встановити в проміжних вузлах магістральних оптичних ліній зв'язку сервери Microsemi (Microchip) Time Provider 4100 в режимі роботи високопродуктивного граничного годинника (High Performance Boundary Clock (HP BC)) і задіяти технології віртуального первинного джерела часу (vPRTC) та первинного джерела часу підвищеної надійності (ePRTC). Для контролю, аудиту та метрологічного контролю точності синхронізації часу кінцевих споживачів підсистеми необхідно використовувати компактні сервера NTP та PTP, які призначені для застосувань в польових умовах, наприклад: SyncServer S80 (NTP) та IGM1100(PTP)(Microchip) та спеціальне програмне забезпечення, наприклад «Domain Time II». Важливо приділити увагу системі метрологічного контролю і забезпеченню надійності синхронізації часу кінцевих вузлів підсистеми.

Підсумовуючи результати наукових досліджень щодо створення першої черги підсистеми забезпечення єдиним часом інформаційно-телекомунікаційних систем Збройних Сил України, можливо констатувати наступне.

Розроблена модель системи метрологічного контролю та управління еталонними сигналами, що використовуються Збройними Силами України. Обґрунтовані пропозиції щодо складу апарату-

турного оснащення технічної складової системи метрологічного контролю та управління еталонними сигналами, що використовуються Збройними Силами України та розроблений проект ТЗ на розробку відповідного комплексу апаратури. Досліджені наявні потреби та розроблені пропозиції щодо складу нормативного забезпечення системи метрологічного контролю та управління еталонними сигналами, що використовуються Збройними Силами України.

В ході практичної реалізації проведених досліджень здійснена дослідна експлуатація апаратно-програмних засобів синхронізації (прив'язки шкал часу) військових споживачів та створена перша черга сервісу надання точного часу (із синхронізацією з національним еталоном часу та частоти) до Головного інформаційного телекомунікаційного вузла ЗС України.

Контроль за точністю передавання еталонних сигналів часу та частоти цією системою має базуватися на високоточних частотно-часових вимірюваннях з урахуванням специфіки військових потреб як автономних систем передавання та розповсюдження еталонних сигналів, так і закордонних ГНСС на випадок їх навмисного або випадкового збою в роботі. Це робить надзвичайно актуальним вирішення задачі створення розподіленої по території держави системи контролю частотно-часового забезпечення Збройних Сил України із використанням потенціалу регіональних метрологічних військових частин.

Першочерговими завданнями розвитку військового сегменту Служби єдиного часу та еталонних частот слід вважати:

- 1) визначення та затвердження організаційно-штатної структури підрозділу МЦВЕ ЗС України, що складає військовий сегмент Служби єдиного часу та еталонних частот.

- 2) розробку та затвердження:

Положення про взаємодію Метрологічного центру військових еталонів ЗС України та Головного центру єдиного часу та еталонних частот Національного наукового центру «Інститут метрології»;

Положення про функціонування системи контролю та управління передаванням еталонних сигналів часу та частоти у ЗС України;

Положення про метрологічне забезпечення серверного обладнання системи передавання (приймання) еталонних сигналів часу та частоти у ЗС України.

- 3) Створення регіональних пунктів підсистеми забезпечення єдиним часом на базі регіональних метрологічних військових частин.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Unified Capabilities Master Plan. Available at: https://www.disa.mil/Network-Services/UCCO/~media/Files/DISA/Services/UCCO/APL-Process/Unified_Capabilities_Master_Plan.pdf.
2. Мазуренко Д.К. Сетевые решения построения пакетной сети распределения сигналов единого точного времени. Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 4. С. 67—71.
3. Hedekvist, P.O., Jaldehag, K., Ebenhag, S.-C., Rieck, C. & Bideberg, G. Time and Frequency Activities at SP. Proc. of the 45th Annual Precise Time and Time Interval Systems and Applications Meeting. Bellevue. Washington. December, 2013. Pp. 21—25.
4. Mills, David L. Computer Network Time Synchronization: the Network Time Protocol on Earth and in Space. Second Ed. CRC Press 2011. 466 p.
5. Martin Lévesque & David Tipper. A Survey of Clock Synchronization Over Packet-Switched Networks. November, 2016. IEEE Communications Surveys & Tutorials. Vol. 18. NO. 4. Pp. 2926—2947. DOI: 10.1109/COMST.2016.2590438.
6. Piester, Dirk, Bauch, Andreas, Becker, Jürgen, Gutbrod, Martin, Klein, Tobias, Polewka, Thomas, Sibold, Dieter, Staliuniene, Egle, Teichel, Kristof, Vajen, Wilfried. PTB's Time and Frequency Services 2018 – 2019. Proc. of the 51st Annual Precise Time and Time Interval Systems and Applications Meeting, San Diego, California, January 2020. Pp. 146—158. <https://doi.org/10.33012/2020.17295>.
7. U.S. Air Force Network Time Service. Available at: https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/05_0713.pdf.
8. Постанова Кабінету Міністрів України “Питання Служби єдиного часу і еталонних частот” № 664 від 2 вересня 2015 р.
9. Матвієнко М.В., Гайдаманчук В.А., Пастушенко І.М. Особливості модернізації національної мережі єдиного часу з урахуванням досвіду впровадження сучасних технологій синхронізації часу в корпоративних мережах. Український метрологічний журнал. 2019. № 1. С. 12—18.
10. Солдатов В.В. Служба єдиного часу і еталонних частот України. Синхронізація часу з використанням Інтернет протоколів NTP і PTP: стан та перспективи розвитку. Український метрологічний журнал. 2019. № 3. С. 14—22.
11. Звіт про НДР «Удосконалення еталонної бази в галузі частотно-часових вимірювань та розробка пропозицій по створенню системи метрологічного забезпечення засобів глобальних навігаційних супутникових систем в Збройних Силах України та інших військових формуваннях». Шифр: «Прорив». Заключний. Номер держреєстрації 0117U004117.
12. Проблеми та шляхи вирішення завдань з контролю та управління передаванням еталонних сигналів часу та частоти в Збройних Силах України / Гаврилов А.Б., Корецький Е., Шевкун С., Головня М., Мещеряк О., Бойко В., Світенко М., Троцько М. Метрологія та прилади. Харків: ХНУРЕ. 2019. № 2. С. 57—62.
13. Звіт про НДР «Дослідження сучасного стану та перспектив розвитку військового сегменту Служби єдиного часу і еталонних частот та розробка пропозицій по створенню системи метрологічного контролю та управління еталонними сигналами, що використовуються Збройними Силами України». Шифр: «Пролісок». Заключний. Номер держреєстрації 0118U100259.
14. Савчук А.В. Природні та штучні причини вразливості систем GNSS (GPS; GLONASS), їх вплив на роботу мереж синхронізації. Хто винен і що робити? Матер. XIII Міжн. наук.-практ. семінару «Синхронізація частоти та часу в електрозв'язку та корпоративних мережах». Київ. 2017.
15. ITU-T G.8275.2/Y.1369.2. Telecommunication standardization sector of ITU (03/2020). Series G: Transmission systems and media, digital systems and networks. Packet over Transport aspects – Synchronization, quality and availability targets, Series Y: Global information infrastructure, internet protocol aspects, next-generation networks, internet of things and smart cities. Internet protocol aspects – Transport Precision time protocol telecom profile for phase/time synchronization with partial timing support from the network. Int. Telecommun. Union (ITU), Geneva, Switzerland, 2020-03-15.
16. ITU-T G.8271.1/Y.1366.1. Telecommunication standardization sector of ITU (03/2020) SERIES G: Transmission systems and media, digital systems and networks. Packet over Transport aspects – Synchronization, quality and availability targets. Series Y: Global information infrastructure, internet protocol aspects, next-generation networks, internet of things and smart cities. Internet protocol aspects – Transport Internet protocol aspects – Transport Network limits for time synchronization in packet networks with full timing support from the network. Int. Telecommun. Union (ITU), Geneva, Switzerland, 2020-03-15.
17. Результати дослідної експлуатації підсистеми забезпечення єдиним часом військових споживачів на базі серверів точного часу Microsemi Time Provider 4100 / В. Солдатов, О. Дзисюк, В. Бойко, А. Гаврилов, М. Світенко, Р. Парог, А. Свистун, М. Матвієнко. Український метрологічний журнал. 2020. № 1. С. 68—78.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

Шановні читачі!!!

Доводимо до Вашого відома, що в нашому
видавництві відбулися суттєві зміни щодо
оформлення та подання статей
до нашого видання.

По-перше, відкрито сайт журналу, на якому більш
детально викладені вимоги до наших публікацій.

Ознайомитися можна за посиланням

[https:// journal.cndiovt.com.ua](https://journal.cndiovt.com.ua)

По-друге, звертайтеся до редакції журналу за
телефоном: **+38 (044) 520-12-84,**

+38 (044) 271-09-66

+38 (067) 110-74-43

Глазкова Світлана Валентинівна

E-mail: cndi_ovt@mil.gov.ua.

Дата друкування 15.03.2021 . Формат 60 x 84 1 / 8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Друк офсетний.
Обсяг ум. др. арк. 7,21; обл.-вид. арк. 10,6. Наклад 250 прим. Зам. № 2040-1.

Видавничий дім Дмитра Бураго

Свідоцтво про внесення до державного реєстру ДК № 2212 від 13.06.2005 р.
04080, Україна, м. Київ-80, а / с 41

Тел. / факс: (044) 227-38-28, 227-38-48; **e-mail:** info@burago.com.ua, **site:** www.burago.com.ua