

ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЧАСТОТНО-ЧАСОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПАСИВНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ ШКАЛ ЧАСУ І ЧАСТОТИ

В. Бойко, начальник науково-дослідного відділу військових еталонів — заступник начальника Центру,
А. Гаврилов, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Ю. Рондін, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Метрологічний центр військових еталонів Збройних Сил України, м. Харків,
О. Костира, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник,
Харківський національний університет радіоелектроніки

Визначено напрямки створення автономної системи частотно-часового забезпечення (ЧЧЗ) споживачів Збройних Сил України на основі використання методу пасивної синхронізації шкал часу і частоти. Представлено результати експериментальних досліджень методу пасивної синхронізації у режимі нульової бази.

Directions on creation for consumers of Armed forces in Ukraine the time-and-frequency maintenance independent system on the basis of time and frequency scales passive synchronization method are defined. Results of experimental researches of passive synchronization method in zero base mode are presented.

Ключові слова: частотно-часове забезпечення, Збройні Сили, метод пасивної синхронізації, шкали часу й частоти.
Keywords: time-and-frequency maintenance, Armed forces, passive synchronization method, time-and-frequency scales.

Однією з головних умов підтримання бойової готовності Збройних Сил України (ЗСУ), забезпечення випробувань нових зразків озброєння і військової техніки (ОВТ) є єдність вимірювань часу і частоти. Без існування сучасної системи вимірювань часу та частоти (ВЧЧ) неможливо забезпечити нормальне функціонування систем і засобів практично усіх видів ЗС [1].

Система забезпечення єдності ВЧЧ у ЗСУ має максимально відповідати таким основним вимогам: точності та достовірності вимірювань, автономності, оперативності, мобільності, економічності, надійності, живучості, завадозахищеності.

Оцінка параметрів точності, дискретності, визначення місцеположення та параметрів руху об'єктів показує, що ці параметри визначаються високими вимогами до формування системної шкали часу та її збереження протягом усього терміну функціонування (експлуатації) системи. Комплексна ефективність системних шкал часу багато у чому визначається ефективністю використаних методів їх синхронізації.

Сучасний стан забезпечення ЗСУ частотно-часовою інформацією (ЧЧІ) практично повністю [2] залежить від іноземних глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС), ГЛОНАСС, GPS, Galileo. Тому контроль правильності їхньої роботи необхідний для задоволення вимог національної безпеки, має базуватися на високоточних ВЧЧ, що робить надзвичайно актуальним вирішення завдання створення розвиненої системи метрологічного контролю на основі удосконалення вихідного еталона ЗСУ одиниць часу і частоти. Окрім того, національна безпека вимагає не лише забезпечення контролю зазначених систем, а й створення власної системи формування та передавання одиниць частоти та часу споживачам з урахуванням специфіки військових потреб на випадок керованого або некерованого збою у функціонуванні закордонних систем.

Залежно від специфікації завдань споживача, його можуть задовольнити різні похибки отримуваної ЧЧІ, її точність, необхідна споживачам, відрізняється на величину в кілька порядків. Відповідно потреби у ВЧЧ можуть задовольнятися за допомогою

різних технічних засобів, які об'єднуються за допомогою різноманітних організаційних структур.

Метрологічні характеристики служби часу і частоти споживача залежатимуть, головним чином, від метрологічних характеристик використовуваних еталонів частоти і часу, а також від методу і технічних засобів, обраних для прив'язки або синхронізації шкали часу. На базі інформації, отриманої від споживача, можуть бути розроблені конкретні рекомендації щодо апаратурного складу служби часу і частоти того або іншого об'єкта, який забезпечить єдність вимірювань.

Мета статті — визначити основні напрямки створення автономної системи частотно-часового забезпечення споживачів ЗСУ на основі використання методу пасивної синхронізації шкал часу і частоти в реалізації алгоритму загального охоплення.

Організаційну основу сучасної системи забезпечення єдності ВЧЧ у ЗСУ можна представити логіко-структурною схемою (рис. 1).

Система забезпечення єдності ВЧЧ і контролю сигналів ЧЧІ та застосування засобів Державної служби часу і частоти (ДСЧЧ) у ЗСУ створена на основі регіональних метрологічних військових частин (РМВЧ) та містить у своєму складі центр метрологічного контролю (ЦМК) і регіональні пункти метрологічного контролю (РПМК).

Позаштатний ЦМК, що входить до складу ДСЧЧ, створено та атестовано Державною комісією єдиного часу і еталонних частот; РПМК — також як позаштатні підрозділи РМВЧ. Типове положення про РПМК (затверджене наказом начальника Центрального управління метрології та стандартизації — головного метролога ЗСУ) розроблено відповідно до Положення про ДСЧЧ і визначає структуру та склад, основні завдання та порядок взаємодії РПМК з ЦМК.

Основні завдання ЦМК:

- забезпечення функціонування вихідного еталона ЗСУ одиниць часу і частоти;

- забезпечення передавання розміру одиниці часу та частоти від первинного державного еталона до вихідного еталона ЗСУ й далі до робочих еталонів РПМК згідно з військовою метрологічною схемою передавання розміру одиниць часу і частоти у діапазоні частот від 1 до $5 \cdot 10^6$ Гц;

- метрологічний контроль еталонних сигналів часу та частоти, які передаються радіо і телевізійними передавальними центрами, а також ГНСС;

- формування й передавання одиниць часу та частоти до споживачів ЗС України у закріпленому регіоні.

Основні завдання РПМК:

- здійснення метрологічного контролю еталонних сигналів часу і частоти, які передаються радіо і телевізійними передавальними центрами, а також різноманітними засобами систем єдиного часу інших країн;

- забезпечення функціонування робочих еталонів часу та частоти та зберігання на їх базі одиниць часу і частоти, а також шкал часу;

- звірення робочих еталонів часу та частоти з вихідним еталоном часу і частоти ЗСУ;

- збирання та опрацювання ЧЧІ, забезпечення нею споживачів у закріпленому регіоні та подання опрацьованої інформації через ЦМК до Українського метрологічного центру Державної служби єдиного часу та еталонних частот;

- аналізування стану метрологічного забезпечення часу і частоти у регіоні.

Ефективність системи забезпечення єдності ВЧЧ значною мірою залежить від характеристик еталонів часу і частоти, а також використовуваних методів і технічних засобів синхронізації шкал часу і частоти.

Проведений аналіз сучасного стану системи ВЧЧ у ЗСУ показує, що як еталонне устаткування, так і система передавання розмірів одиниць робочим еталонам військового призначення, не мають необхідного запасу за точністю для надійного метрологічного забезпечення функціонування системи.

Монопольне положення, яке займають іноземні ГНСС у сфері синхронізації шкал часу і частоти, фактично не дозволяє відповідати таким основним вимогам до системи забезпечення єдності ВЧЧ, як автономність, оперативність, мобільність. Крім того, необхідність створення розвиненої системи метрологічного контролю сигналів ГНСС, у свою чергу, потребує значних фінансових витрат.

Вирішення зазначених проблем можливе за створення пасивних систем синхронізації (ПСС) часу і частоти. У ПСС використовується спільне джерело (СД) (еталонні сигнали часу і частоти), сигнали якого

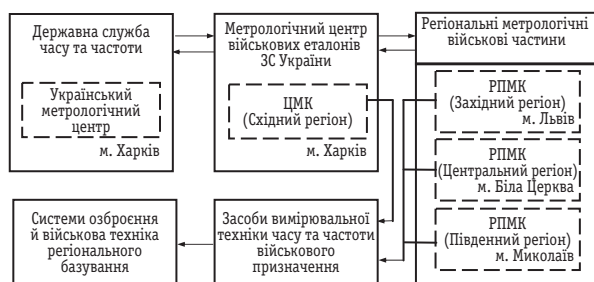


Рис. 1. Логіко-структурна схема організаційної основи системи забезпечення єдності ВЧЧ

Fig. 1. Logic-block diagram of an organizational basis of system of maintenance of unity of measurements of time and frequency

приймаються у рознесених пунктах, а зсув шкал визначається з урахуванням відомої різниці затримок сигналів між СД і пунктами, що синхронізуються (у пунктах випромінювання відсутнє). Пасивні методи засновані на реалізації алгоритму загального охоплення (АЗО) — у закордонній літературі назва «common view» [3, 4].

Широке впровадження ПСС можливе, насамперед, за достатнього розроблення апаратних і алгоритмічних засобів підвищення стабільності їх частотно-часових параметрів, для чого необхідно обґрунтувати вибір методів і алгоритмів роботи ПСС, технічних рішень і процедур опрацювання результатів вимірювань у процесі звірення еталонів часу і частоти; провести дослідження основних джерел похибок синхронізації, властивих обраному методу та алгоритму.

Зазначені проблеми протягом багатьох років успішно вирішуються на кафедрі ОРТ Харківського національного університету радіоелектроніки, в тому числі й проблеми, пов'язані з ПСС, в яких як спільні сигнали використовуються сигнали цифрового наземного телебачення [5].

Для звірення шкал часу і частоти просторово рознесених мір прийнятним за точністю є використання сигналу СД наземного базування, що потенційно забезпечує наносекундну похибку синхронізації шкал часу. В [4] показано, що найкращим сигналом є сигнал наземного цифрового телебачення формату DVB-T2. Однак, у телецентрах використовуються генератори сигналів, що не синхронізовані між собою. Завдання звірення шкал еталонів у такому випадку можливо вирішити шляхом використання сигналів декількох телецентрів, що мають зони роботи, які перекриваються. Для цього необхідно у кожному місці перекриття двох суміжних зон сигналів установити апаратуру (двоканальний регістратор), яка записує взаємне часове положення фрагментів телевізійних сигналів.

Сумісне опрацювання інформації щодо прив'язки шкал часу еталонів, які синхронізуються, до «своїх» телецентрів, а також інформації стосовно взаємної прив'язки телевізійних сигналів у суміжних точках у випадку відомого місцеположення радіопередавальних та радіоприймальних пристроїв, дозволяє звірити шкали просторово рознесених еталонів, які не мають єдиного загального джерела сигналів. Структурну схему апаратури пункту для взаємної прив'язки сигналів загальних джерел двох суміжних зон наведено на рис. 2. Замість персональної електронно-обчислювальної машини (ЕОМ) можна використовувати спеціалізований пристрій на основі мікропроцесора. Апаратура в пунктах є одноканальною. Для підвищення надійності роботи системи синхронізації можливо побудувати резервні лінії переприв'язки загальних джерел.



Рис. 2. Структурна схема апаратури для взаємної прив'язки сигналів двох загальних джерел

Fig. 2. Block diagram of equipment for a mutual binding of signals of two general sources

Результати експериментальних досліджень

Для експериментальної перевірки точності синхронізації шкал часу за використання пасивного методу синхронізації як сигнал СД використано сигнал OFDM цифрового наземного телебачення (ЦНТБ). Узагальнену структурну схему експериментальної установки представлено на рис. 3.

З виходів приймальних модулів знімаються сигнали проміжної частоти у смузі 8 МГц. Двоканальний цифровий осцилограф виконує функцію аналого-цифрового перетворювача. Персональна ЕОМ керує роботою цифрового осцилографа, формує масиви сигнальних вибірок і виконує статистичне опрацювання результатів вимірювань. Принцип роботи експериментальної установки такий. Здійснюється послідовний синхронний запис сигнальних вибірок, за кожною парою яких обчислюються дискретні відліки взаємнокореляційної функції (ВКФ), визначається часове положення максимумів. Отриманий масив даних піддається статистичному опрацюванню, результати якого відображаються графічно для зручності подальшого аналізу.

Результати експерименту:

- * кількість пар сигнальних вибірок — 250;
- * кількість відліків у сигнальній вибірці — 10000;
- * тривалість сигнальної вибірки — 50 мкс;
- * середнє значення різниці часу надходження сигналів — 9,8 нс;
- * середньоквадратичне відхилення визначення часового положення максимуму ВКФ — 2,5 нс;
- * відношення сигнал / завада на вході аналого-цифрового перетворювача — 30—35 дБ.

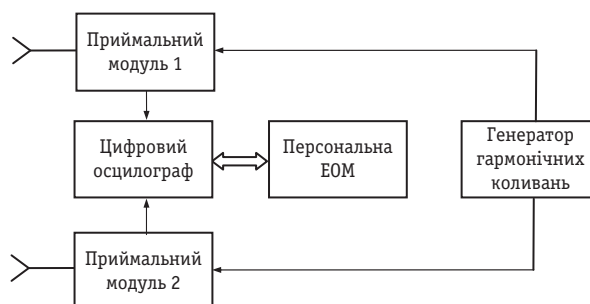


Рис. 3. Структурна схема експериментальної установки

Fig. 3. Block diagram of experimental installation

Результати експериментальних досліджень [6] свідчать щодо високої потенційної точності синхронізації шкал часу, яка складає одиниці наносекунд. Також слід відзначити такі переваги OFDM-сигналу ЦНТБ: прямокутний спектр, що добре узгоджується з амплітудно-частотною характеристикою радіоприймального пристрою; шумоподібна структура, яка забезпечує хороші характеристики за однозначністю вимірювань; сигнал ЦНТБ має найбільшу з відомих наземних СД ефективну ширину спектра та за рівних відношень сигнал / шум дозволяє досягти найкращих результатів фільтрації інформаційного параметра.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень свідчать щодо можливості технічної реалізації високоточної системи синхронізації шкал часу і частоти за всією територією України.

ВИСНОВКИ

1. Реалізація концептуальних проблем розвитку ОБТ зумовлює принципове вдосконалення усіх видів забезпечення ЗСУ, в тому числі й системи ЧЧЗ, основні вимоги до якої: точність, достовірність вимірювань, автономність, оперативність, — постійно зростають.

2. Для ЗСУ принциповими є вимоги до автономності системи (незалежності від іноземних ГНСС). Ефективну систему ЧЧЗ можливо створити на основі реалізації пасивної системи синхронізації шкал часу і частоти з використанням алгоритму загального охоплення шляхом вибору сигналів СД і сучасних методів їх опрацювання.

3. Результати проведення експериментальних досліджень, в яких як сигнали використовуються сигнали ЦНТБ, показали, що система може забезпечити наносекундну точність синхронізації шкал часу і частоти за всю територією України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Пашкевич І. Д. Актуальні метрологічні проблеми координатно-часового забезпечення Збройних Сил України та шляхи їх вирішення / І.Д. Пашкевич, А.Б. Гаврилов, В.М. Романько // «Системи озброєння і військова техніка». (Pashkevich I.D. Actual metrological problems of coordinate-and-time maintenance of Armed forces of Ukraine and a way of their permission / I.D. Pashkevich, A.B. Gavrilo, V.M. Romanko // «Systems of arms and the military techniques»)—Вип.2(14). — 2008. — С/Р. 64—67. (in Ukr.).
2. Камінський В.Ю. Проблеми забезпечення єдності вимірювань часу та частоти у Збройних Силах України та шляхи їх вирішення / В.Ю. Камінський, В.М. Романько // Наука і оборона (Kaminsky V.Jul. Problems of maintenance of unity of measurements of time and frequency and a way of their permission / V.Jul. Kaminsky, V.N. Romanko // The Science and defence). — 1998. — Вип. 3. — С/Р. 43—47. (in Ukr.).
3. Коваль Ю.А. Анализ алгоритмов синхронизации эталонов времени и частоты / Ю.А. Коваль, О.А. Трошин // Радиотехника. Всеукр. межведом. науч.-техн. сб. (Koval Ju.A. Analysis of algorithms of synchronization of standards of time and frequency / Ju.A. Koval, O.A. Troshin // The Radio engineering. The Vseukrainsky interdepartmental scientific and technical collection), — 2000. — Вип. 113. — С/Р. 47—52. (in Rus.).
4. Спосіб частотно-часової синхронізації просторово рознесених еталонів і стандартів часу та частоти: Патент 77652. Україна. МПК / Ю.О. Коваль, Б.А. Ал-Твежрі, О.О. Костиря (A way the frequency-sentry of synchronization of spatially carried standards time and frequency standards. The patent 77652. Ukraine. IPC / Ju.A. Koval, B.A. Al-Tvezhri, A.A. Kostyrja). (in Ukr.).
5. Коваль Ю.А. Выбор общего источника сигнала для региональной системы синхронизации времени и частоты / Ю.А. Коваль, А.А. Костыря, О.А. Соляник, С.Ф. Семенов, С.А. Плехно, Х.Х. Асаад // Радиоэлектроника. Информатика. Управление (Koval Ju.A. Choice of the general source of a signal for regional system of synchronization of time and frequency / J.A. Koval, A.A. Kostyrja, O.A. Soljanik, S.F. Simeon, S.A. Plehno, H.H. Asaad // Radio electronics. Computer science. Management). — Випуск 2(27). — Запоріжжя: ЗНТУ, — 2013. — С/Р. 63—69. (in Rus.).
6. Костыря А.А. Экспериментальные исследования потенциальной точности частотно-временной синхронизации при использовании сигналов цифрового наземного телевидения // А.А. Костыря, В.Н. Науменко, С.А. Плехно, С.И. Ушаков // Східно-Європейський журнал передових технологій (Kostyrja A.A. Experimental research of potential accuracy of time-and-frequency synchronization at use of signals of digital land TV // A.A. Kostyrja, V.N. Naumenko, S.A. Plehno, S.I. Ushakov // The East European magazine of high technologies). — Випуск 1/9(67). — Харків, — 2014. — С/Р. 24—28. (in Rus.).

Отримано / received: 04.04.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н. проф. О. О. Морозовим (Україна).
Prof. O. O. Morozov, D. Sc. (Teh), Ukraine, recommended this article to be published.