



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **76698** (13) **U**
(51) МПК (2013.01)
G04G 7/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

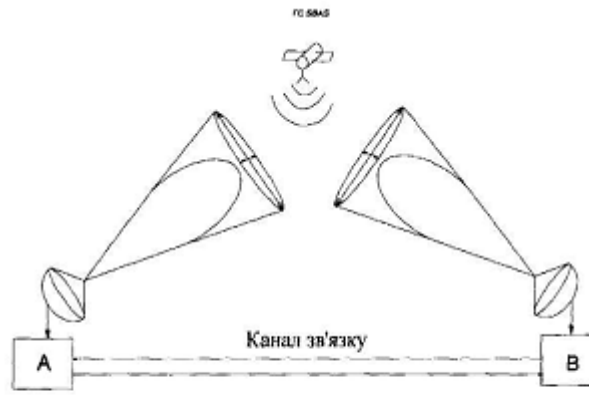
(21) Номер заявки: u 2012 08340	(72) Винахідник(и): Коваль Юрій Олександрович (UA), Приймак В'ячеслав Юрійович (UA), Костиря Олександр Олексійович (UA), Хусейн Акрам Фатхи (UA)
(22) Дата подання заявки: 07.07.2012	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.01.2013	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.01.2013, Бюл.№ 1	(73) Власник(и): ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ (ХНУРЕ), пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166 (UA)

(54) СПОСІБ ЧАСТОТНО-ЧАСОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ ПРОСТОРОВО РОЗНЕСЕНИХ ЕТАЛОНІВ І СТАНДАРТИВ ЧАСУ Й ЧАСТОТИ

(57) Реферат:

Спосіб частотно-часової синхронізації просторово-рознесених еталонів часу й частоти, відповідно до якого проводять одночасні виміри величин зсуву в часі моментів прийому одного й того ж фрагменту сигналу геостационарного супутника відносно шкали часу еталонів у пунктах. Здійснюють прийом когерентного GPS-подібного сигналу геостационарного супутника системи SBAS направленими антенами, ширину діаграм спрямованості яких вибирають із умов, щоб при нутаціях геостационарний супутник не виходив за їх межі, далі у кожному із пунктів, де розміщені еталони, здійснюють квадратурну обробку прийнятої суміші сигналу і завад в поєднанні із взаємкореляційною обробкою в кожному каналі із прив'язаним до шкали еталону відеосигналом, код якого співпадає із кодом сигналу супутника, та визначають час затримки сигналу по її обвідній та фазі, що дозволяє, після обміну результатами вимірів, оцінити зсув шкал еталонів із урахуванням різниці затримок сигналу супутника до пунктів, що викликана геометричним розташуванням еталонів та супутника, його нутацією, різницею затримок сигналів в апаратурі пунктів, а також параметрами іоносфери та тропосфери на трасах поширення радіохвиль.

UA 76698 U



Фіг. 1

Корисна модель належить до галузі радіотехніки та метрології і призначена для звірення рознесених еталонів часу та частоти.

Відомий спосіб звірення еталонів часу та частоти, заснований на стабільності часу поширення сигналів в метеорному радіоканалі, використовує випромінювання сигналу, прив'язаного до шкали часу вторинного еталону, до пункту первинного еталону та його подальшої ретрансляції у зворотному напрямку разом з сигналом, прив'язаним до шкали часу первинного еталону (Дудник Б.С. и др. Использование метеорного распространения радиоволн для привязки часов пунктов службы времени и частоты. - "Измерительная техника", 1971 № 12, с. 38-42). Для реалізації цього способу необхідно встановити радіопередавальне обладнання в пунктах. Воно потрібне для виявлення метеорного радіоканалу та передачі по ньому даних.

Недоліками способу є наявність постійно діючої радіопередавальної апаратури в пунктах і недостатня оперативність, що обумовлено випадковістю появи метеорних сеансів зв'язку.

Близьким по сукупності ознак є також спосіб звірення еталонів часу та частоти з використанням сигналів супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) GPS та ГЛОНАСС. Ці системи включають по 24 штучних супутника Землі (ШСЗ), які обертаються навколо Землі з періодом $T \approx 12$ год. на висоті $h \approx 20 \cdot 10^3$ км, і забезпечують навігаційною та часовою інформацією споживачів у глобальному масштабі. На борту ШСЗ систем GPS та ГЛОНАСС встановлено цезієві стандарти частоти, відносна нестабільність яких за добу складає не більш $5 \cdot 10^{-13}$. Це дозволяє забезпечити похибку синхронізації шкал часу ШСЗ відносно шкали часу системи 15 нс при введенні частотно-часових поправок два рази на добу. Для звірення у пунктах проводяться вимірювання зсуву шкал своїх еталонів відносно сигналів, прийнятих від одного із ШСЗ, та здійснюється обмін результатами вимірювань між пунктами (Ю.Г. Гужва, А.Г. Геворкян, П.П. Богданов, В.В. Овчинников. Синхронизация часов по сигналам "ГЛОНАСС". - "Радионавигация и время", 1994 № 1(4) с. 11-14).

Цей спосіб також має свої недоліки: недостатня оперативність отримання даних, відносно мале співвідношення сигнал/завада, низька завадостійкість, залежність від стану СРНС GPS або ГЛОНАСС.

Найближчим по сукупності ознак до заявленої корисної моделі є спосіб частотно-часової синхронізації просторово-рознесених еталонів часу й частоти з використанням сигналу від загального джерела - телекомунікаційного геостационарного супутника, відповідно до якого проводять одночасні виміри величин зсуву в часі моментів прийому одного й того ж фрагменту сигналу геостационарного супутника відносно шкали часу еталонів у пунктах (Пат. України № 38167, МПК G04G7/00. Опубл. 25.12.2008, Бюл. № 24).

Цей спосіб має недоліки: складність обробки та визначення однакових фрагментів псевдовипадкових телекомунікаційних сигналів; при виборі параметрів антен не враховуються нутації геостационарного супутника; при обробці результатів не використовують змінювання затримок сигналів при нутації супутника та в апаратурі; не враховують параметри іоносфери та тропосфери на трасах поширення радіохвиль від супутника до пунктів.

Технічною задачею корисної моделі є здійснення звірення еталонів часу і частоти з високими показниками точності, завадостійкості і оперативності. Такі технічні результати забезпечені за рахунок використання антен із відповідними діаграмами спрямованості (ДС), квадратурної обробки та визначення часового положення по обвідним та фазам когерентних GPS-подібних сигналів геостационарного супутника (ГС) системи SBAS, а також урахування при визначенні зсуву шкал нутації ГС, затримок в апаратурі, параметрів іоносфери та тропосфери на час затримки сигналів при поширенні радіохвиль.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі частотно-часової синхронізації просторово-рознесених еталонів часу й частоти, відповідно до якого проводять одночасні виміри величин зсуву в часі моментів прийому одного й того ж фрагменту сигналу геостационарного супутника відносно шкали часу еталонів у пунктах, згідно з корисною моделлю здійснюють прийом когерентного GPS-подібного сигналу геостационарного супутника системи SBAS направленими антенами, ширину діаграм спрямованості яких вибирають із умов, щоб при нутаціях геостационарний супутник не виходив за їх межі, далі у кожному із пунктів, де розміщені еталони, здійснюють квадратурну обробку прийнятої суміші сигналу і завад в поєднанні із взаємкореляційною обробкою в кожному каналі із прив'язаним до шкали еталону відеосигналом, код якого співпадає із кодом сигналу супутника, та визначають час затримки сигналу по її обвідній та фазі, що дозволяє, після обміну результатами вимірів, оцінити зсув шкал еталонів із урахуванням різниці затримок сигналу супутника до пунктів, що викликана геометричним розташуванням еталонів та супутника, його нутацією, різницею затримок сигналів в апаратурі пунктів, а також параметрами іоносфери та тропосфери на трасах поширення радіохвиль.

На фіг. 1-3 зображено принципи реалізації заявленого способу.

Фіг. 1 ілюструє розташування ГС системи SBAS та форми ДС антен.

На фіг. 2 показано позначення сигналів та вимірюваних величин: $H^A(t)$, $H^B(t)$, ΔT^{AB} - шкали часу еталонів у відповідних пунктах та їх зсув; $s_{ГC}(t)$ - когерентний сигнал ГС; $t_3^{ГC \rightarrow A}$, $t_3^{ГC \rightarrow B}$ - час затримки сигналу супутника до пунктів А і В відповідно; $n^A(t)$, $n^B(t)$ - завади у пунктах; $s_1^A(t)$, $s_1^B(t)$, t_1^A , t_1^B - прийняті у пунктах сигнали та час їх затримки. На фіг. 2,а приведено загальну структуру, а на фіг. 2,б - часову діаграму роботи системи, що реалізує заявлений спосіб.

В системі використовується алгоритм загального охоплення або загального джерела (відомий у зарубіжній літературі як "common view"). В заявленому способі як загальне джерело використовується когерентний GPS-подібний сигнал ГС системи SBAS $s_{ГC}(t)$.

Згідно з часовою діаграмою, що наведено на фіг. 2,б, зсув шкал можна визначити, обмінявшись результатами вимірів t_1^A та t_1^B , як

$$\Delta T^{AB} = t_1^A - t_1^B - (t_3^{ГC \rightarrow A} - t_3^{ГC \rightarrow B}). \quad (1)$$

Різниця часу поширення радіохвиль від ГС до пунктів ($t_3^{ГC \rightarrow A} - t_3^{ГC \rightarrow B}$) у виразі (1) складається із:

$$t_3^{ГC \rightarrow A} - t_3^{ГC \rightarrow B} = \delta t_{геом}^{A-B} + \delta t_{ап}^{A-B} + \delta t_{нут}^{A-B} + \delta t_{іон}^{A-B} + \delta t_{трп}^{A-B}, \quad (2)$$

де $\delta t_{геом}^{A-B} = \frac{|r_{ГC \rightarrow A} - r_{ГC \rightarrow B}|}{c}$ - різниця затримок сигналу від ГС до пунктів, що викликана

геометричним розташуванням ГС відносно еталонів ($r_{ГC \rightarrow A}$, $r_{ГC \rightarrow B}$ - відстані ГС від пунктів, c - швидкість світла);

$\delta t_{ап}^{A-B} = \tau_{прм}^A - \tau_{прм}^B$ - різниця затримок приймальної апаратури пунктів ($\tau_{прм}^A$, $\tau_{прм}^B$ - затримки приймальної апаратури відповідного пункту);

$\delta t_{нут}^{A-B}$, $\delta t_{іон}^{A-B}$, $\delta t_{трп}^{A-B}$ - різниця затримок сигналів, що викликані нутацією ГС, а також впливом параметрів іоносфери та тропосфери на відхилення швидкості поширення радіохвиль від швидкості світла.

Виходячи із виразів (1) і (2), зсув шкал у заявленому способі пропонується визначати у вигляді

$$\Delta T^{AB} = t_1^A - t_1^B - (\delta t_{геом}^{A-B} + \delta t_{ап}^{A-B} + \delta t_{нут}^{A-B} + \delta t_{іон}^{A-B} + \delta t_{трп}^{A-B}). \quad (3)$$

На фіг. 3 зображено структурну схему системи, що реалізує заявлений спосіб, де наведено також основні часові діаграми, що ілюструють квадратурну обробку сигналу у пункті А. Оскільки обробка та вимірювання часового положення сигналу у пунктах аналогічні, структурна схема для пункту В для спрощення показана на фіг. 3 штрихованим прямокутником.

На фіг. 3, крім прийнятих на фіг. 2 та у виразі (2), використано позначення:

- блоки, що перетворюють сигнали: «х» - перемножувач; « $\pi/2$ » - фазообертач: "ВКО" - взаємкореляційна обробка сигналів;

- блок, що розраховує модуль та аргумент комплексних виразів, - « $|\cdot|/\arg[\cdot]$ »;

- блоки, що генерують сигнали: « \hat{t}_1^A » - еталон пункту А; « $S_0^A(t)$ » - генератор носійної частоти ω_0 у пункті А; « $S_{об/0}^A(t)$ » - формувач обвідної сигналу ГС, прив'язаний до шкали еталону пункту А;

- сигнали: $S_{sin}^A(\tau)$, $S_{cos}^A(\tau)$ - "синусна" та "косинусна" складові після ВКО;

$S_{об/ВКФ}^A(\tau) = |S_{cos}^A(\tau) + jS_{sin}^A(\tau)|$ - обвідна взаємкореляційної функції (ВКФ);

$\varphi_1^A(\tau) = \arg[S_{cos}^A(\tau) + jS_{sin}^A(\tau)]$ - фаза ВКФ;

- блоки, що вимірюють часове положення (ВЧП) сигналу відповідно по обвідній та фазі, - «ВЧП/об» та «ВЧП/ф»;

- оцінки часового положення сигналів у пунктах по обвідній та фазі відповідно - $\hat{t}_{1/об}^A$, $\hat{t}_{1/об}^B$,

$\hat{t}_{1/ф}^A$, $\hat{t}_{1/ф}^B$.

Особливостями квадратурної ВКО прийнятих сигналів та завад є те, що у кожному пункті коливання носійної частоти $(s_0^A(t), s_0^B(t))$ та обвідні сигналу ГС $(S_{об/0}^A(t), S_{об/0}^B(t))$ формуються безпосередньо від еталонів і прив'язані до їх шкал часу. Тому "синусна" та "косинусна" складові після ВКО складуться:

$$5 \quad S_{\sin}^A(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} [s_1^A(t) + n^A(t)] \sin(\omega_0 t) S_{об/0}^A(t - \tau) dt = 0,5 S_{об/АКФ}(\tau - t_{1/об}^A) \sin(\psi_1^A) + n_{\sin/ВКФ}^A(\tau); (4)$$

$$S_{\cos}^A(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} [s_1^A(t) + n^A(t)] \cos(\omega_0 t) S_{об/0}^A(t - \tau) dt = 0,5 S_{об/АКФ}(\tau - t_{1/об}^A) \cos(\psi_1^A) + n_{\cos/ВКФ}^A(\tau); (5)$$

де $S_{об/АКФ}(\tau - t_{1/об}^A)$ - затримана на час $t_{1/об}^A$ обвідна автокореляційної функції (АКФ) сигналу $s_1^A(t)$, ψ_1^A - фазова затримка сигналу $s_1^A(t)$ відносно $S_{ГС}(t)$,

$$n_{\sin/ВКФ}^A(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} n^A(t) \sin(\omega_0 t) S_{об/0}^A(t - \tau) dt,$$

$$10 \quad n_{\cos/ВКФ}^A(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} n^A(t) \cos(\omega_0 t) S_{об/0}^A(t - \tau) dt - \text{"синусна" та "косинусна" завадові складові в каналах після ВКО.}$$

З використанням (4) та (5) модуль обвідної ВКФ на виході блока « $|\cdot|/\arg[\cdot]$ » складе

$$S_{об/ВКФ}^A(\tau) = |S_{\cos}^A(\tau) + jS_{\sin}^A(\tau)| = 0,5 |S_{об/АКФ}(\tau - t_{1/об}^A) + n_p^A(\tau)|,$$

де $n_p^A(\tau)$ - результуюча завада, що спотворює АКФ сигналу.

$$15 \quad \text{В блоці «ВЧП/об», на який подається } S_{об/ВКФ}^A(\tau), \text{ оцінюється затримка сигналу по обвідній}$$

$t_{1/об}^A$ в пункті А. Ця оцінка використовується як для розрахунку зсуву шкал в блоці обробки результатів вимірів, так і для визначення фазової затримки сигналу в блоці «ВЧП/φ»

$$t_{1/\varphi}^A = \varphi_{ВКФ}^A \left(t_{1/об}^A \right) / \omega_0 + k^A T_0,$$

де $T_0 = 2\pi/\omega_0$ - період носійної частоти, k^A - кількість періодів, яка визначається після

$$20 \quad \text{усунення неоднозначності фазових вимірів за допомогою вимірів по обвідній, } \varphi_{ВКФ}^A \left(t_{1/об}^A \right) - \text{значення аргументу ВКФ}$$

$$\varphi_{ВКФ}^A(\tau) = \arg [S_{\cos}^A(\tau) + jS_{\sin}^A(\tau)] \text{ для } \tau = t_{1/об}^A.$$

Остаточні розрахунки зсуву шкал $\Delta T(t)$ (зокрема, $\Delta T = \text{const}$), з використанням вимірів по обвідній та фазі сигналу, та статистична обробка результатів (середньоквадратичне відхилення $\sigma_{\Delta T}$ гістограми та гіпотези про закон розподілу результатів вимірів) виконуються у відповідному

$$25 \quad \text{блоці, на входи якого надходять масиви значень } t_{1/об}^A, t_{1/об}^B, t_{1/\varphi}^A, t_{1/\varphi}^B, \text{ а також різниці затримок } \delta t_{геом}^{A-B}, \delta t_{іон}^{A-B}, \delta t_{трп}^{A-B}, \delta t_{нут}^{A-B}, \delta t_{ап}^{A-B}.$$

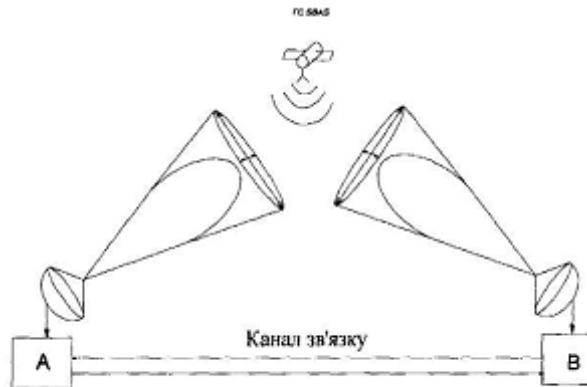
Таким чином, запропонований спосіб дозволяє здійснювати звірення просторово-рознесених еталонів та стандартів часу та частоти з більшими точністю, надійністю, оперативністю та завадостійкістю. При цьому зберігаються пасивність та автономність системи.

30

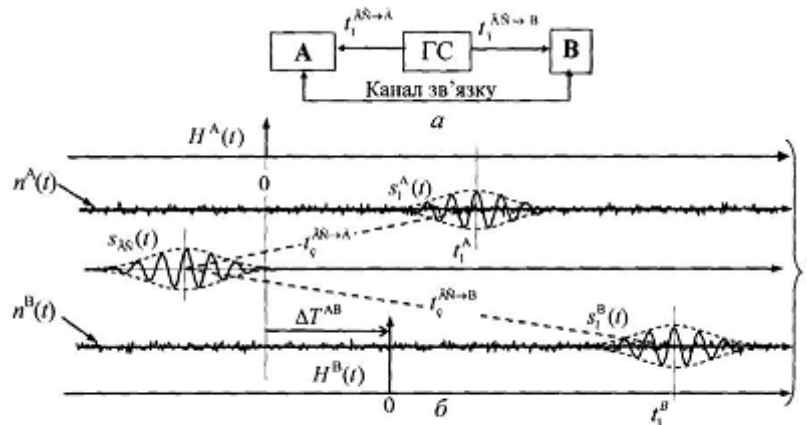
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

$$35 \quad \text{Спосіб частотно-часової синхронізації просторово-рознесених еталонів часу й частоти, відповідно до якого проводять одночасні виміри величин зсуву в часі моментів прийому одного й того ж фрагменту сигналу геостационарного супутника відносно шкали часу еталонів у пунктах,}$$

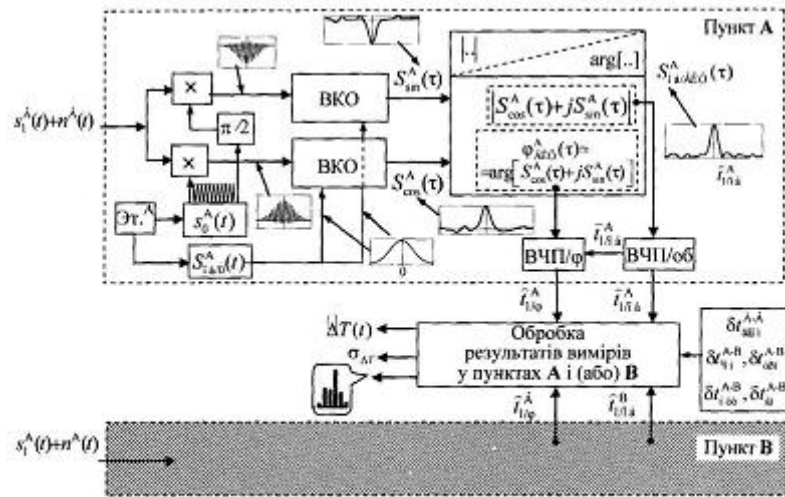
який відрізняється тим, що здійснюють прийом когерентного GPS-подібного сигналу геостационарного супутника системи SBAS направленими антенами, ширину діаграм спрямованості яких вибирають із умов, щоб при нутаціях геостационарний супутник не виходив за їх межі, далі у кожному із пунктів, де розміщені еталони, здійснюють квадратурну обробку прийнятої суміші сигналу і завад в поєднанні із взаємкореляційною обробкою в кожному каналі із прив'язаним до шкали еталону відеосигналом, код якого співпадає із кодом сигналу супутника, та визначають час затримки сигналу по її обвідній та фазі, що дозволяє, після обміну результатами вимірів, оцінити зсув шкал еталонів із урахуванням різниці затримок сигналу супутника до пунктів, що викликана геометричним розташуванням еталонів та супутника, його нутацією, різницею затримок сигналів в апаратурі пунктів, а також параметрами іоносфери та тропосфери на трасах поширення радіохвиль.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3