

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

УШАКОВ СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ



**МЕТОДИ КОМПЕНСАЦІЇ ВПЛИВУ БАГАТОПРОМЕНЕВОСТІ
СИГНАЛУ СПІЛЬНОГО ДЖЕРЕЛА В ПАСИВНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ
СИСТЕМАХ ЧАСТОТНО-ЧАСОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ**

05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник **Костиця Олександр Олексійович**, Харківський національний університет радіоелектроніки, провідний науковий співробітник кафедри “Основи радіотехніки”.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Величко Анатолій Федорович**, інститут радіофізики і електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України, завідувач відділу;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Карлов Дмитро Володимирович**, Харківський університет Повітряних Сил ім. І.М. Кожедуба, начальник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил.

Захист відбудеться “ 29 ” червня 2016 р. о 15-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Науки, 14, ауд. 13.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Науки, 14.

Автореферат розіслано “ 28 ” травня 2016 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03

доктор технічних наук, професор



В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Практичне створення та подальший розвиток загальної структури Державної служби єдиного часу і еталонних частот в Україні потребує розробки та запровадження нових методів синхронізації шкал еталонів часу та частоти для використання в сучасних радіотехнічних системах радіолокації, навігації, зв'язку, телекомунікацій, вимірювальних технологіях та інших.

Нові вимірювальні технології – радіоінтерферометрія з наддовгими базами (РНДБ), лазерна локація штучних супутників Землі (SLR) і Місяця (LLR), автономні супутникові системи визначення орбіт, засоби радіолокації планет і їх супутників, моніторинг гравітаційного поля Землі, інформаційні технології з використанням високошвидкісного оптоволоконного цифрового зв'язку за останні 15-20 років збільшили точність координатно-часових вимірів на декілька порядків.

Безперервне зростання вимог до точності частотно-часової синхронізації територіально рознесених еталонів часу і частоти зумовлено високим темпом вдосконалення еталонів, відносна нестабільність яких в даний час дорівнює $10^{-15} \dots 10^{-16}$, і розширенням кола завдань, що вирішуються із застосуванням високоточних частотно-часових методів. Крім перерахованих вище традиційних областей застосування цих методів синхронізації з'являються і нові, наприклад, комп'ютерні та цифрові мережі зв'язку. При цьому на відповідні міждержавні та державні служби покладено завдання забезпечення єдності вимірювання часу та частоти.

Одним із важливих напрямків удосконалення систем синхронізації є розвиток багатопозиційних пасивних систем високоточної частотно-часової синхронізації. Забезпечення вимог з економічності, надійності, завадозахищеності, електромагнітної сумісності можливо у разі застосування багатопозиційних пасивних систем синхронізації (БПСС). Основним параметром, що відображає якість роботи БПСС, є значення похибки частотно-часових звірень (ЧЧЗ).

У ряді робіт розглядається питання підвищення точності ЧЧЗ за рахунок усунення (компенсації) такого джерела похибки, як багатопроменевість розповсюдження радіохвиль (РРХ). В технічних виданнях показано, що багатопроменевість РРХ викликає появу додаткових піків взаємної кореляційної функції (ВКФ) прийнятих сигналів, що знижує ймовірність правдивого звірення та вносить похибку до результатів звірення. Боротьба з багатопроменевістю є актуальною і для завдань позиціонування за допомогою глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС). Рекомендаціями Міжнародного союзу електрозв'язку передбачена необхідність прийняття заходів щодо компенсації впливу багатопроменевості РРХ.

Усунення впливу багатопроменевості насамперед передбачає виявлення факту її наявності. Таким чином, алгоритм звірення шкал часу просторово-рознесених засобів у порівнянні з результатами попередніх досліджень, що проводилися у ХНУРЕ, удосконалюється – додається процедура перевірки прийнятих сигналів на наявність багатопроменевості, яку можна виконувати паралельно з операцією порівняння еталонів, і, при виявленні такої, вживати заходів щодо усунення її впливу на точність синхронізації.

Наявність багатопроменевого сигналу знижує рівень співвідношення сигнал/шум у сигналі спільного джерела, який приймається, що в свою чергу викликає збільшення похибки синхронізації. Якщо час запізнювання додаткового променя (променів) менше тривалості сигнальної вибірки, то прийом сигналу ще більш ускладнюється наявністю частково-корельованої завади, рівень і ступінь кореляції якої збільшується при зменшенні часу запізнювання і може привести до збільшення ймовірності помилкової синхронізації.

Таким чином, є актуальною тема дисертаційної роботи, спрямованої на вирішення важливої науково-прикладної задачі підвищення точності звірення шкал просторово-рознесених еталонів часу і частоти методом компенсації впливу багатопроменевої завади спільного джерела в пасивних радіотехнічних системах частотно-часової синхронізації та експериментальна перевірка розроблених технічних рішень, що дозволяють поліпшити показники з завадозахищеності, електромагнітної сумісності та зниження похибки синхронізації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження пов'язані з виконанням планових НДР, які проводились у ХНУРЕ, у Національному науковому центрі “Інститут метрології” (ННЦ ІМ) та в Метрологічному центрі військових еталонів Збройних Сил України:

№ 287 “Створення технологій побудови багатфункціонального радіотехнічного комплексу для екологічного моніторингу”, розділ № 287-5 “Розробка альтернативних методів синхронізації інформаційно-вимірювальних систем раціонального природокористування”, № ДР 0114U002697 (2014-2015 р.р.), (виконавець);

№ 676 “Забезпечення функціонування Державної служби єдиного часу і еталонних частот (ДСЧЧ) в Україні” №№ ДР 0112U008240, 0115U003818), які виконувались Українським метрологічним центром Державної служби єдиного часу і еталонних частот (2014-2015 р.р.), (виконавець);

“Дослідження варіантів побудови й функціонування комплексу апаратури Центру метрологічного контролю та розробка програмно-методичного забезпечення його дослідної експлуатації та державних випробувань”, ДР 0114U00411 (2014 р.), (виконавець);

“Дослідження методів синхронізації шкал часу і частоти та визначення оптимальних варіантів звірення вихідного еталона Збройних Сил України (ВЕЗСУ 07-01-01-09) часу та частоти з державним еталоном”, шифр “Промет-РТ” (2014 р.), (виконавець).

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є підвищення точності звірення просторово-рознесених мір часу та частоти в пасивних системах синхронізації шляхом компенсації впливу багатопроменевого поширення сигналу спільного джерела (ССД).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Обґрунтувати метод та принципи компенсації пасивних некорельованих та частково-корельованих завад, зумовлених багатопроменевим поширенням сигналу спільного джерела у БПСС.

2. Розробити математичну модель БПСС, в якій реалізувати компенсацію багатопроменевого поширення сигналу спільного джерела.

3. Розробити структурну схему компенсатора багатопроменевого сигналу спільного джерела у багатопозиційних пасивних системах синхронізації.

4. Розробити алгоритм функціонування БПСС, який дозволяє визначати факт наявності багатопроменевості сигналу і реалізувати можливість виконання звірень просторово-рознесених еталонів часу та частоти з допустимими похибками.

5. Розробити структурну схему експериментальної установки БПСС, в якій реалізувати компенсацію (подавлення) багатопроменевої завади.

6. Провести експериментальні дослідження щодо можливості технічної реалізації методу компенсації багатопроменевих завад сигналу спільного джерела у БПСС.

Об'єкт досліджень – процес синхронізації в пасивних багатопозиційних радіотехнічних системах синхронізації просторово-рознесених еталонів часу та частоти з використанням сигналів сторонніх спільних джерел.

Предмет досліджень – пасивний метод синхронізації з використанням ССД, похибки синхронізації та їх джерела, процедури обробки результатів вимірювань зсуву шкал часу і частоти в умовах наявності багатопроменевого поширення сигналу спільного джерела.

Виходячи з мети і предмету досліджень, наукова задача, яка вирішується в дисертаційній роботі, полягає в удосконаленні БПСС шляхом розробки методу компенсації впливу багатопроменевого поширення сигналу спільного джерела на результуючу похибку синхронізації.

Методи досліджень передбачають застосування класичних методів, що широко використовуються в радіотехніці:

теорії часового, спектрального і кореляційного аналізу при дослідженні причин виникнення, характеру і механізму впливу багатопроменевих завад в БПСС, обґрунтуванні переваг і недоліків при виборі сигналів сторонніх джерел, виборі методів щодо реалізації обробки даних;

математичного моделювання процесів у пасивних системах синхронізації при вирішенні задач, пов'язаних з компенсацією впливу багатопроменевості РРХ при реалізації пасивного методу загального охоплення (ПМЗО);

експериментальної перевірки достовірності результатів теоретичних досліджень і можливостей технічної реалізації запропонованих підходів та рішень.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Розроблено новий метод компенсації впливу багатопроменевості сигналу спільного джерела на результуючу похибку синхронізації багатопозиційної пасивної системи, який на відміну від відомих, дозволяє здійснити одночасну компенсацію частково-корельованих і некорельованих багатопроменевих завад, що знаходяться у стробі часового розрізнення.

2. Розроблено нову математичну модель багатопозиційної пасивної системи синхронізації, в якій на відміну від відомих моделей систем звірення шкал часу і частоти, реалізовано компенсацію багатопроменевого поширення сигналу спільного джерела.

3. Розроблено нові принципи побудови компенсаторів багатопроменевих сигналів у багатопозиційних пасивних системах синхронізації, які на відміну

від відомих, засновані на першочерговому виділенні і компенсації корисного сигналу, після чого стає можливим виділення складових завади для їх подальшого подавлення.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Розроблений алгоритм роботи компенсатора реалізує нову послідовність (етапність) виконання операцій подавлення багатопроменевої завади у багатопозиційних пасивних системах синхронізації. В основу роботи алгоритму покладено модифіковані принципи кореляційної компенсації з визначенням етапів першочергового виділення та подавлення корисного сигналу, що надає можливість подальшого виділення складових багатопроменевої завади та їх компенсацію.

2. Компенсатор, структуру якого синтезовано у ході досліджень, забезпечує подавлення багатопроменевої завади у сигналі спільного джерела у багатопозиційних пасивних системах синхронізації. Відмінною особливістю запропонованого компенсатора є те, що його робота побудована на виділенні корисного сигналу, вільного від багатопроменевої завади, за допомогою якого у подальшому здійснюється виділення складових завади для формування необхідного компенсуючого сигналу.

3. Отримані в ході проведення експериментальних досліджень результати підтверджують працездатність запропонованого методу компенсації багатопроменевої завади сигналу спільного джерела навіть при рівні завади більше рівня корисного сигналу. Структура розробленої експериментальної установки може бути практично реалізована при проведенні частотно-часових звірень у багатопозиційних пасивних системах синхронізації, що входять до складу Державної служби синхронізації часу та частоти.

4. Експериментальні дослідження макета пасивної системи синхронізації з використанням сигналів цифрового наземного телебачення Харківського телецентру в режимі “нульової бази” довели ефективність запропонованих програмно-апаратних рішень компенсатора багатопроменевої завади і принципів обробки результатів вимірювань. Використання компенсатора дозволило подавити багатопроменеву заваду до рівня, який забезпечив зниження середньоквадратичної похибки вимірювання зсуву шкал часу та частоти у 4-5 разів.

Результати дисертаційної роботи реалізовані у вище зазначених НДР, а також впроваджені в навчальний процес кафедри „Основи радіотехніки” ХНУРЕ, що підтверджується чотирма актами впровадження.

Достовірність і обґрунтованість отриманих наукових результатів забезпечується та підтверджується: коректним використанням математичного апарату кореляційної обробки для оцінки похибки синхронізації рознесених у просторі еталонів (стандартів) часу і частоти; високою відповідністю результатів лабораторних досліджень діючих макетів систем синхронізації отриманим теоретичним даним.

Особистий внесок здобувача. Нові наукові результати отримані здобувачем особисто. У роботах, виконаних у співавторстві, здобувачеві належать наступні результати: запропоновано та розроблено новий метод компенсації впливу багатопроменевості сигналу спільного джерела на результуючу похибку

синхронізації у багатопозиційній пасивній системі [5, 6, 10, 12]; розроблено нову математичну модель БПСС [4, 5, 12]; розроблено нові принципи побудови компенсаторів багатопроменевості сигналу спільного джерела в БПСС [5, 6, 10, 12]; синтезовано структуру компенсатора багатопроменевості сигналу спільного джерела в БПСС [5, 6, 10, 12]; розроблено методика проведення експерименту та структурну схему експериментальної установки [2, 3, 6, 8, 9]; розроблено алгоритм роботи компенсатора багатопроменевої завади у БПСС [5, 10]; запропоновано нові програмно-апаратні рішення практичної реалізації та використання компенсатора багатопроменевості сигналу загального джерела в БПСС, принципи обробки виконаних вимірювань, проведено аналіз отриманих результатів [1, 6, 7, 11, 12].

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи були представлені і обговорювалися на наступних науково-технічних конференціях:

18-та науково-практична конференція “Проблеми створення, розвитку та застосування інформаційних систем спеціального призначення” (Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету 15.04.2011 р.) [7]; міжнародна конференція “Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії”, (ТСЕТ-2014 р.), (Львів-Славське 2014 р.) [8]; міжнародний радіоелектронний форум “Прикладна радіоелектроніка. Стан і перспективи розвитку”, (МРФ-2015, Харків 2015) [9]; науково-технічна конференція “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки”, (ЦНДІ ОВТ, Київ – 2015р.) [10, 11]; міжнародний радіоелектронний форум “Прикладна радіоелектроніка. Стан і перспективи розвитку”, (МРФ-2016, Харків 2016) [9, 12].

Публікації результатів дисертації. Основні наукові результати за темою дисертації опубліковано у 6-ти статтях у періодичних виданнях, які входять до затвердженого переліку видань України, статті [1, 2] опубліковано в журналі “Східно-Європейський журнал передових технологій”, який включено до міжнародних науко-метричних баз даних Index Copernicus та РІНЦ, видано 6 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація являє собою рукопис і складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації 183 с. Основний зміст дисертації викладено на 161 с., з яких 7 с. повністю займають рисунки і таблиці, містить 54 рис. і 7 табл. Бібліографічний список налічує 150 джерел. Додатки включають 4 акти впровадження результатів роботи.

ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність науково-технічної задачі, надаються відомості про зв'язок дисертаційної роботи з науковими напрямками і програмами. Сформульована наукова задача, представлені відомості про наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів, дані про реалізацію результатів роботи. Представлена інформація про наукові публікації автора за темою роботи, особистий внесок автора та апробації результатів досліджень.

У першому розділі “Аналіз вимог до стабільності параметрів сигналів частотно-часового забезпечення. Основні джерела похибок синхронізації” наведені вимоги щодо стабільності сигналів частотно-часового забезпечення для систем зв'язку, радіонавігаційних та інших систем, а також виконано порівняльний аналіз методів синхронізації, які використовуються найбільш широко. Обґрунтовано доцільність застосування ПМЗО і розробки БПСС. На основі аналізу складових похибок синхронізації у БПСС робиться висновок про необхідність зниження впливу багатопроменевого поширення сигналу спільного джерела та формулюються питання дослідження у ході виконання поставленої науково-практичної задачі [1-3].

Для вирішення поставленої науково-практичної задачі необхідно видозмінити відомі принципи реалізації систем захисту від пасивних некорельованих та частково-корельованих завад, якими і є завади, що зумовлені багатопроменевим РРХ.

Основні відмінності між класичними радіотехнічними системами і БПСС полягають у наступному:

відомі принципи компенсації пасивних завад розроблено та реалізовано для систем активної локації (передачі даних), які передбачають наявність апріорної інформації про параметри сигналів. При цьому деякі з параметрів сигналів можуть цілеспрямовано змінюватися з метою селекції завад. На відміну, БПСС використовують сигнали сторонніх спільних джерел, змінювати параметри яких немає можливості;

складні і багатовартісні радіотехнічні системи, як правило, оснащені фазованими антенними решітками, що дозволяє вирішувати питання просторової завадової селекції. Використання фазованих антенних решіток в БПСС не розглядається з метою забезпечення економічної доцільності запропонованого методу компенсації багатопроменевих завад;

на відміну від традиційних систем виявлення та супроводу радіолокаційних цілей, які працюють в реальному масштабі часу, БПСС працює у режимі часової пост-обробки, коли сигнали спільного джерела фіксуються у цифровій формі, проводиться обмін даними між пунктами, що синхронізуються, виконуються розрахунки, які далі також можуть підлягати спільній обробці та аналізу.

Удосконалення БПСС, на що направлено виконання дисертаційних досліджень, полягає в тому, що шляхом порівняння відомих принципів компенсації пасивних завад розроблено новий метод подавлення багатопроменевості сигналу спільного джерела з урахуванням особливостей функціонування БПСС.

Визначено основні задачі реалізації запропонованого методу компенсації багатопроменевої завади.

У другому розділі “Теоретичне обґрунтування принципів компенсації багатопроменевого сигналу в пасивних системах частотно-часової синхронізації” з використанням загальноприйнятих критеріїв побудови інформаційно-вимірjuвальних систем проаналізовано принципи реалізації ПМЗО, який є базовим для БПСС, визначені види спільних джерел та проаналізовано придатність їх сигналів для використання у БПСС. Проведено аналіз відомих принципів подавлення завад з метою застосування їх положень до вирішення задачі компен-

сації багатопроменевих завад в БПСС. Визначено підходи до оцінки ефективності роботи системи компенсації багатопроменевого сигналу [5, 6, 10, 12].

При наявності суттєвих багатопроменевих завад у БПСС виникає потреба у вирішенні актуальної задачі зменшення їх впливу на точність роботи системи синхронізації. При цьому слід припустити, що багатопроменеві завади однакової інтенсивності не можуть одночасно існувати у всіх пунктах, що синхронізуються, а тому їх наявність можна визначити шляхом порівняння енергетичних характеристик прийнятих сигналів спільного джерела (СД), значень максимумів їх автокореляційних функцій (АКФ). З цією метою виникає необхідність попереднього калібрування прийомних каналів або ж порівняння попарних ВКФ вибірок сигналу СД, записаних у пунктах синхронізації. Присутність бічних пелюсток в одній або в декількох ВКФ буде свідчити про наявність додаткового сигналу, що знаходиться в межах інтервалу часової кореляції. Запропонований метод передбачає виділення такого сигналу та подальшу його компенсацію.

Особливості реалізації розробленого в ХНУРЕ пасивного методу загального охоплення дозволяють модифікувати відомі підходи в питаннях компенсації багатопроменевих завад для БПСС. При цьому певні ускладнення становить той фактор, що параметри сигналу СД неможливо адаптувати під умови заводої обстановки, оскільки джерело корисного сигналу не є підпорядкованим користувачам БПСС. Слід враховувати, що багатопроменева завада має таку ж тривалість, що й корисний сигнал, зосереджена в тій же смузі частот і може бути частково-корельованою з основним сигналом СД.

Аналіз найбільш поширених і загальнодоступних радіоджерел показує, що спираючись на основні критерії вибору, найбільш доцільним для побудови БПСС є використання наступних сигналів:

наземного цифрового наземного телебачення (ЦНТБ), які мають шумоподібну структуру в смузі частот 8 МГц, високі антенні пристрої та потужні передавачі, що забезпечують максимальне покриття у зоні прямого бачення для наземних пасивних радіотехнічних систем та засобів;

супутникового ТБ (забезпечують охоплення великих територій; сигнали повністю сумісні з форматом ЦНТБ, починаючи з проміжної частоти 38 МГц);

системи функціонального космічного доповнення навігаційних систем на геостаціонарних орбітах типу WAAS, SBAS (США), EGNOS (Євросоюз) та інші, що охоплюють великі території і надають можливість отримання GPS-подібних сигналів з координатно-часовою інформацією для проведення калібрувальних робіт. Крім того, звірення шкал часу та частоти з використанням ГНСС (GPS, ГЛОНАСС та ін.) забезпечують багатоканальність повірочної схеми частотно-часових звірень.

Таким чином, порівняльний аналіз сигналів можливих спільних джерел для БПСС показує, що найбільш розповсюдженими в системах зв'язку, телекомунікаційних, навігаційних та інших системах є сигнали з багатозафазною модуляцією. Такі сигнали мають шумоподібну структуру, ширину смуги частот в межах 10 МГц та дозволяють забезпечити високу точність ЧЧЗ. Використання ефекту "стиснення" таких сигналів при їх взаємо-кореляційній обробці дозволяє вияви-

ти наявність багатопроменевого сигналу для випадку частково-корельованої багатопроменевої завади, якщо основний та додаткові піки ВКФ розрізняються.

Застосування методу компенсації впливу багатопроменевості сигналу СД розглядається на прикладі двох-позиційної пасивної системи ЧЗ [5, 10] при наявності у пункті B багатопроменевої завади. Після дискретизації в приймачі повний прийнятий сигнал має вигляд

$$X^B [i] = x^B [i] + \sum_{j=1}^k b_j x^B [i - t_j] + n^B [i], \quad (1)$$

де: $X^B [i]$ – повна суміш прийнятого корисного сигналу СД та заводових сигналів;

$x^B [i]$ – корисна складова прийнятого сигналу СД;

$x^B [i - t_j]$ – багатопроменева завада, що утворена затриманим сигналом СД;

$n^B [i]$ – складова завади приймача у вигляді “білого шуму”;

b_j – коефіцієнт ослаблення окремої багатопроменевої завади;

t_j – час запізнення окремої багатопроменевої завади;

k – кількість прийнятих багатопроменевих завод.

При $t_j > \tau_{kop}$ (де, τ_{kop} – час взаємної кореляції сигналів СД, які прийняті в пунктах B та A) ВКФ сигналів СД містить додаткові пелюстки, віддалені від головного на t_j , Фрагменти сигналу СД вважаються ідентичними з точністю до фази, тобто $x^B [i] \approx x^A [i]$. Сигнал $X^A [i]$, який прийнято в пункті A та використовується у якості опорного (без наявності багатопроменевої завади), віднімається від сигналу $X^B [i]$ пункту B , у результаті чого формується повна заводова складова

$$\begin{aligned} X_n^B [i] &= X^B [i] - X^A [i] = x^B [i] + \sum_{j=1}^k b_j x^B [i - t_j] + n^B [i] - x^A [i] - n^A [i] = \\ &= \sum_{j=1}^k b_j x^B [i - t_j] + n^B [i] - n^A [i], \end{aligned} \quad (2)$$

де $X_n^B [i]$ – повна заводова складова сигналу в пункті B ;

$x^A [i]$ – корисна складова прийнятого опорного сигналу СД в пункті A ;

$n^A [i]$ – складова завади приймача пункту A у вигляді “білого шуму”.

Для отримання в пункті B корисного сигналу СД ($X_c^B [i]$), вільного від багатопроменевої завади, складова (2) вилучається з прийнятого сигналу (1)

$$X_c^B [i] = X^B [i] - X_n^B [i] = x^B [i] + n^A [i]. \quad (3)$$

Слід зазначити, що отримана після обробки в пункті B вивільнена від багатопроменевої завади складова корисного сигналу в подальшому використовується для звірення шкал еталонів часу та частоти в пунктах синхронізації.

Викладений принцип компенсації може бути реалізований у БПСС, струк-

турна схема якої наведена на рис. 1.

На рис. 1 позначено:

$u_A(t), u_B(t)$ – безперервні сигнали СД, прийняті в пунктах A та B ;
 $e(t_j - T_{cmp}^A), e(t_j - T_{cmp}^B)$ – функції стробування сигнальної вибірки в пунктах синхронізації;

t_j – початковий час запису j -ї сигнальної вибірки ССД;

$\widehat{\Delta T}^{AB}$ – оцінка зсуву шкал часу та частоти просторово-рознесених еталонів.

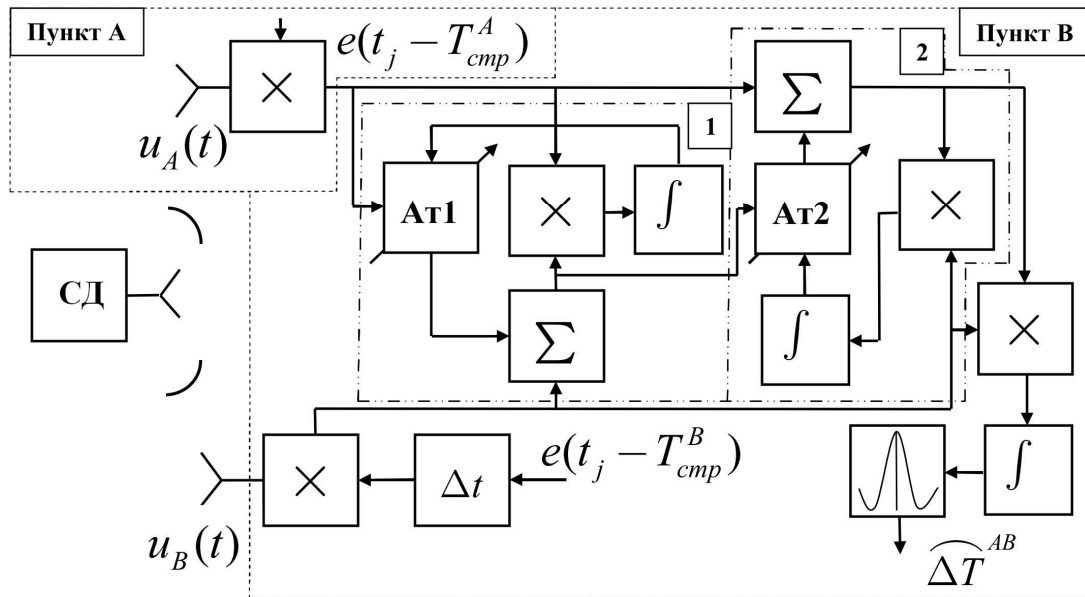


Рис.1. Структурна схема БПСС з блоками компенсації багатопроменевої завади

Схема рис. 1 відображає ситуацію, коли багатопроменева завада присутня в пункті A . Сигнал СД фіксується в пунктах синхронізації в межах часових стробів запису T_{cmp}^A, T_{cmp}^B з урахуванням апріорі відомої різниці часу запізнення Δt сигналів СД між пунктами A та B . У схемі штрих-пунктиром виділені два ідентичних за складом функціональних блоки (1 та 2), кожен з яких складається з атенюаторів ($At1, At2$), перемножувачів (\times), інтеграторів (\int) та суматорів (Σ). В першому блоці виділяється багатопроменева завада, у другому блоці ця завада складається у протифазі з “зашумленим” сигналом і на його виході формується корисний сигнал, який використовується для звірення еталонів.

Відповідно до представленої схеми сигнал в пункті A має більшу затримку, тому в пункті B є вузол, позначений Δt , який вирівнює різницю ходу сигналів для реалізації принципів роботи ПМЗО [4].

Таким чином, викладений підхід дозволяє компенсувати багатопроменеву заваду, що виникає у БПСС при прийомі сигналу СД.

В ході виконаних теоретичних досліджень обґрунтовано можливість компенсації багатопроменевості сигналу спільного джерела при її наявності в одному чи кількох пунктах синхронізації.

В результаті досліджень реалізовано новий метод когерентної компенсації. Модифікація стала можливою завдяки рознесеному прийому сигналів в пунктах

синхронізації, рознесених у просторі, за рахунок виділення в одному з них корисного сигналу, вільного від багатопроменевості, з подальшим виділенням завадової складової, зумовленої багатопроменевим прийомом та її компенсацією в іншому каналі. У роботі розглянуто варіанти побудови одно та багатоканальних компенсаторів.

Для оцінки якості подавлення багатопроменевої завади використано відомий підхід для визначення ефективності компенсації завади у боковому пелюстку діаграми спрямованості. Застосування зазначеного підходу з урахуванням особливостей побудови БПСС дозволяє визначити наступні рекомендації:

необхідність досягнення мінімуму залишкової потужності корисного сигналу при виділенні сигналу багатопроменевої завади;

забезпечення ідентичності амплітудно-частотних і фазо-частотних характеристик підсилювачів проміжної частоти (ППЧ) в приймальних пристроях пунктів синхронізації шляхом їх початкового та подальшого періодичного калібрування;

виконання умови максимального наближення до одиниці коефіцієнта взаємної кореляції сигналів спільного джерела, що діють на виходах ППЧ приймальних пунктів.

Використання запропонованого методу компенсації багатопроменевої завади доречно і в інших багатопозиційних системах, які приймають ідентичні корисні сигнали, якщо в одному з приймальних пунктів завада відсутня чи має допустимий енергетичний рівень.

Третій розділ “Математичне моделювання процесів в пасивних системах синхронізації часу і частоти”. У розділі наведені результати дослідження фізичних процесів у БПСС за допомогою методу математичного моделювання. Розроблено загальну математичну модель пасивної радіотехнічної системи синхронізації, яка відображає особливості її практичної реалізації та принципи отримання інформації. Ефективність роботи БПСС оцінюється у порівнянні з класичними інформаційно-вимірювальними системами, що застосовують аналогову та цифрову кореляційну обробку сигналів. Блоки цієї моделі використовуються в подальших дослідженнях впливу багатопроменевості сигналу спільного джерела. Також шляхом математичного моделювання досліджуються похибки синхронізації, зумовлені добовим переміщенням геостационарних штучних супутників Землі (ГС ШСЗ) [1, 4, 5, 7, 10, 12].

В моделі використовується відомий метод когерентної компенсації на носійній або проміжній частотах, який модифіковано під особливості реалізації ПМЗО, що дозволило отримати позитивні результати у боротьбі з впливом багатопроменевих завад. Ефектом застосування модифікованого таким чином ПМЗО є збільшення відношення сигнал/завада вихідного корисного сигналу, що дозволяє забезпечити адекватність та необхідну точність вимірювань [4, 5, 10, 12].

Для здійснення моделювання роботи БПСС сформовані моделі блоків вхідних сигналів і завад, структура яких відображена на рис. 2.

Блок формування сигналів і завад пункту A , вхідними та вихідними сигналами якого є:

$\mathbf{S}^A[t - t_3]$ – вектор-стовпець дискретних амплітудних відліків ССД в пункті A ;

t_3 – різниця часу затримки сигналу СД між пунктами A та B ;

$\mathbf{N}_0^A[t]$ – вектор-стовпець дискретних амплітудних відліків внутрішніх шумів приймального каналу пункту A ;

$\mathbf{U}^A[t]$ – вектор-стовпець суміші дискретних амплітудних відліків ССД та внутрішніх шумів в пункті A .

Блок формування сигналів і завад пункту B з вхідними та вихідними сигналами:

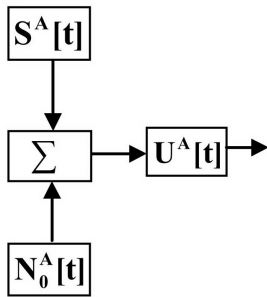
$\mathbf{S}^B[t]$ – вектор-рядок дискретних амплітудних відліків ССД в пункті B ;

$\mathbf{N}_0^B[t]$ – вектор-рядок дискретних амплітудних відліків внутрішніх шумів приймального каналу пункту B ;

$\alpha_k \{ \mathbf{S}^B[t - t_i] \}$ – вектор-рядок дискретних амплітудних відліків багатопроменевої завади в пункті B , затриманої на час t_i по відношенню до основного сигналу СД, де α_k – скалярний параметр, що визначає співвідношення між основним корисним сигналом та затриманим сигналом багатопроменевої завади (амплітудний множник);

$\mathbf{U}^B[t]$ – вектор-рядок суміші дискретних амплітудних відліків ССД, внутрішніх шумів та відліків багатопроменевої завади в пункті B .

Блок пункту A



Блок пункту B

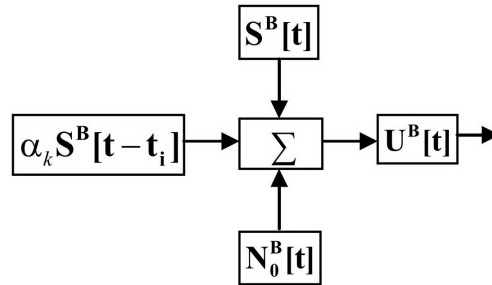


Рис. 2. Блоки формування сигналів та завад пунктів A та B

За допомогою блоку пункту A формується сигнал, що складається з сигналу СД та внутрішніх шумів приймального каналу пункту A . Враховується додатковий час затримки сигналу в пункті A відносно сигналу в пункті B на час t_3 :

$$\mathbf{U}^A[t] = \mathbf{S}^A[t - t_3] + \mathbf{N}_0^A[t].$$

На відміну від пункту A до сигналу у пункті B додається завада

$$\mathbf{U}^B[t] = \mathbf{S}^B[t] + \mathbf{N}_0^B[t] + \sum_{k=1}^n \alpha_k \{ \mathbf{S}^B[t - t_i] \},$$

яка може містити k променів. В моделі є можливість зміни параметрів k , α_k , t_i та t_3 . Сформовані сигнали надходять на ідентичні блоки подальшої обробки, на

виходах яких формуються оцінки точності звірення шкал еталонів. Відповідно до запропонованого алгоритму функціонування БПСС в умовах наявності перевідбитого заводового сигналу розроблена математична модель системи, структурна схема якої представлена на рис. 3.

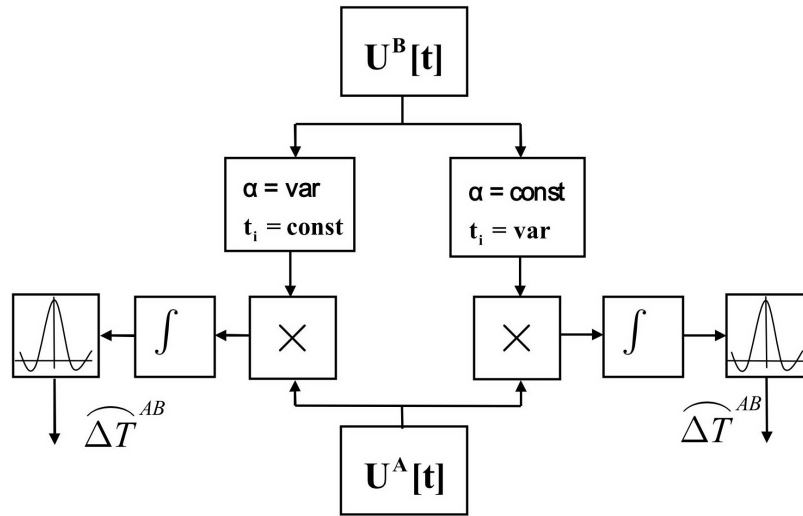


Рис. 3. Структурна схема моделі дослідження багатопроменевої заводи

В ході математичного моделювання отримано наступні результати:

визначено залежності точності звірення шкал еталонів часу та частоти від величини рівня багатопроменевої заводи α_k ;

розраховано залежності точності звірення шкал еталонів часу та частоти від значення часу затримки заводового променя t_i .

Основною особливістю досліджень є формування сигнальних вибірок $S^A[t-t_3]$, $S^B[t]$, $\alpha_k \{S^B[t-t_i]\}$ у вигляді сигналів з внутрішньою імпульсною модуляцією, що дозволило урахувати вплив ефекту “стиснення” сигналу СД на характеристики точності БПСС. При цьому за основу взято модель дискретно-частотного сигналу з фіксованою (одиничною) амплітудою частотних складових, початкова фаза яких змінюється при зміні номера частотної складової

$$u_k[t] = \sum_{k=1}^N U_0 \cos[\omega_{0k}t + n_k \Phi_0],$$

де $u_k[t]$ – відліки дискретно-частотного сигналу;

U_0 – амплітуда частотних складових;

ω_{0k} – носійна частота коливань складових сигналу;

n_k – номер частотної складової;

Φ_0 – мінімальне значення зміни фази.

Розроблена математична модель адекватно відображає процеси, які відбуваються в БПСС при роботі компенсатора багатопроменевої заводи. В основу математичної моделі БПСС покладено положення теорії радіолокаційної обробки сигналів з випадковими початковою фазою і амплітудою.

В моделі враховано основні характерні особливості БПСС:

використання сигналів СД, які є модульованими, безперервними і мають малий інтервал кореляції;

суттєва відмінність умов прийому сигналів СД у пунктах синхронізації рознесених на значну відстань (сотні кілометрів), що викликає часткову декореляцію сигналів за рахунок виникнення додаткових джерел завад, одним з яких є багатопроменеве РРХ.

Використання ефекту “стиснення” модульованих сигналів забезпечує поліпшення в B разів (де, B – база сигналу, яка дорівнює результату перемноження ширини спектру сигналу на тривалість сигнальної вибірки) розподільчої здатності БПСС при наявності багатопроменевого прийому та підвищення ймовірності впевненого звірення шкал часу і частоти.

Поряд з багатопроменевістю РРХ, при моделюванні враховано додаткове джерело похибки сигналів, спричинене добовим переміщенням (нутацією) ГС ШСЗ при побудові системи з використанням супутникових сигналів [1, 7].

У четвертому розділі “Результати експериментальних досліджень пасивних систем часо-частотної синхронізації при багатопроменевому поширенні сигналу спільного джерела” представлені результати експериментальної перевірки розроблених схемно-технічних рішень БПСС часу і частоти, що здійснюють подавлення сигналу багатопроменевої завади для забезпечення умов виконання звірень еталонів часу та частоти при використанні ССД [2, 3, 6, 8 – 12].

Для перевірки алгоритму компенсації багатопроменевого сигналу в БПСС відповідно до виразів (1) – (3) реалізовано програмно-апаратну експериментальну установку, структурна схема якої представлена на рис. 4. До складу даної установки входять два ідентичних радіоприймальних канали, що забезпечують прийом одного і того ж трансляційного каналу цифрового наземного телебачення (спільного джерела – СД), його перетворення на проміжну частоту 38 МГц, для чого використовуються смугові фільтри (СФ1 та СФ2), змішувачі (Зм.1, Зм.2) та гетеродини (Гет.1, Гет.2). Перетворення безперервних сигналів $X_A(t)$ і $X_B(t)$ у дискретну форму $X_A[t]$ і $X_B[t]$ в межах часового стробу сигнальної вибірки здійснюється двоканальним цифровим осцилографом (ЦО). Цифрові масиви знаходяться в буферній пам’яті (Буф.пам.). Подальша частина схеми реалізована у вигляді спеціалізованого програмного забезпечення, за допомогою якого на першому етапі вирівнюються фази корисних сигналів шляхом дискретного перебору можливих значень фазових розбіжностей, що виконує блок вирівнювання різниці фаз (ВРФ). При цьому фаза суміші сигналу та багатопроменевої завади залишається незмінною, а змінюється фаза опорного сигналу за допомогою лінії затримки (ЛЗ) – дискретного часового зсуву однієї сигнальної вибірки відносно іншої. За критерій рівності фаз сигналів прийнято критерій мінімуму суми амплітудних відліків різницевого сигналу при взаємному дискретному зміщенні вибірок в можливому діапазоні часової неузгодженості

$$\sum_{i=0, j=0}^n \{|X^A[i]| - |X^B[j]|\} = \min.$$

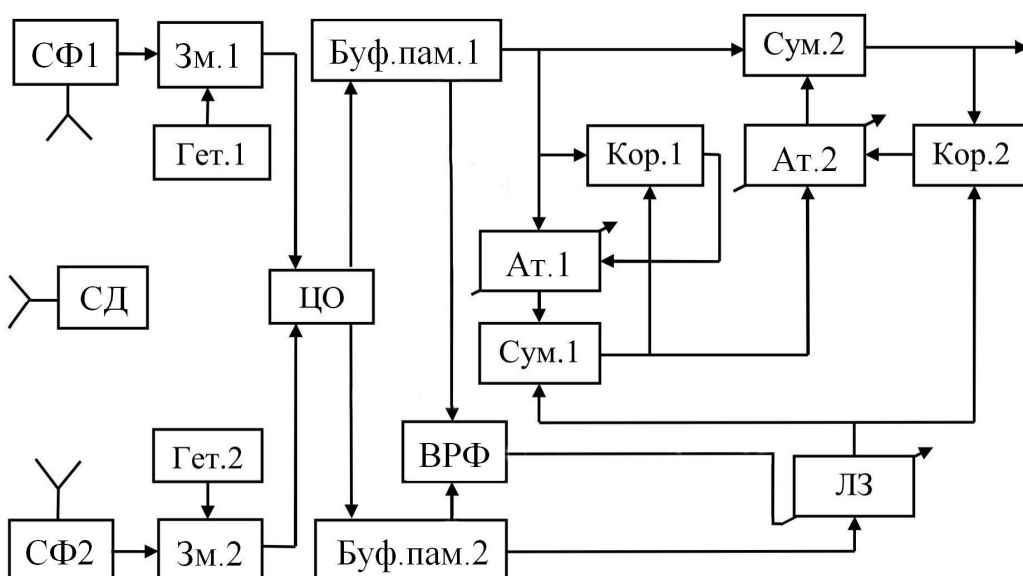


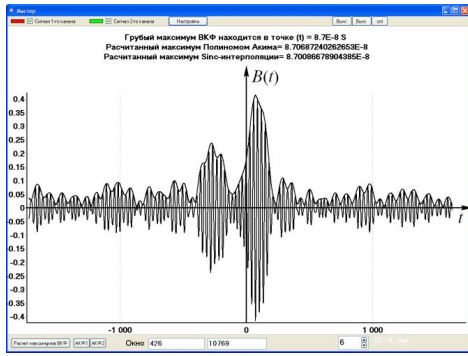
Рис. 4. Структурна схема експериментальної установки

На рис. 5 наведено графічне відображення ВКФ сигналів спільного джерела, прийнятих в пунктах *A* та *B*, на виходах 1-го та 2-го кореляторів експериментальної установки. Відображено два етапи функціонування алгоритму реалізації запропонованого методу компенсації багатопроменевої завади з попереднім виключенням корисного сигналу для виділення “чистої” завади з метою її подальшого подавлення. При роботі компенсатора забезпечується максимально повний часовий збіг основних сигналів СД, зафіксованих в прийомних каналах, а також забезпечується рівність амплітуд сигналів, що компенсуються.

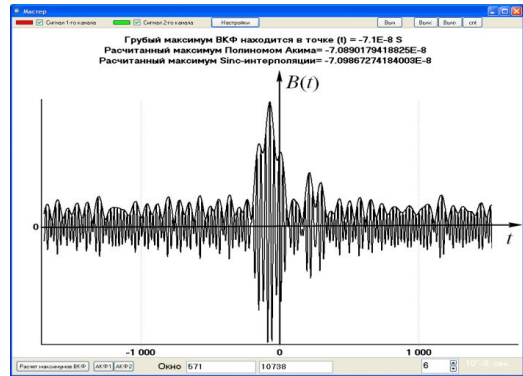
Вирівнювання амплітуд корисних сигналів відбувається за допомогою першого атенюатора за результатом визначення залишкового рівня корисного сигналу на виході першого корелятора, що демонструють рис. 5а та рис. 5в. Цей сигнал через другий атенюатор надходить в протифазі на вхід другого суматора, в якому і відбувається компенсація завади. Коефіцієнт передачі другого атенюатора регулюється за рівнем некомпенсованого сигналу багатопроменевої завади на виході другого корелятора, що демонструють рис. 5б і рис. 5г. Вихідним є сигнал другого суматора, який у подальшому буде використовуватися для виконання частотно-часових звірень.

Експериментальні дослідження по звіренню шкал еталонів часу і частоти підтвердили високу ефективність розробленого методу компенсації багатопроменевої завади [2, 3, 6, 8 – 12]. Отримані практичні результати повністю підтверджують теоретичне обґрунтування можливості подавлення частково-корельованої завади, що знаходиться в межах часового стробу розрізнення ($T_{стр}^A$, $T_{стр}^B$, див. рис. 1). У проведеному експерименті завадовий сигнал перевищував рівень корисного сигналу, що не позначилося на працездатності запропонованого алгоритму.

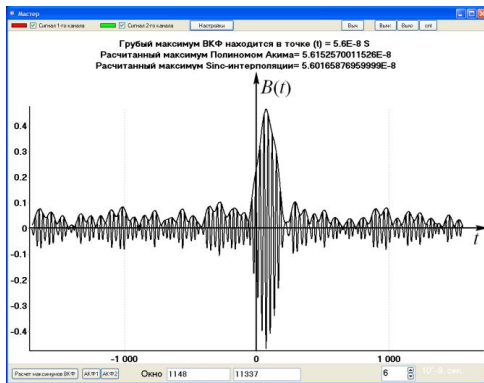
Розроблений алгоритм подавлення багатопроменевої завади може застосовуватися і в інших пасивних багатопозиційних радіотехнічних системах, принцип роботи яких базується на спільній обробці інформаційних сигналів.



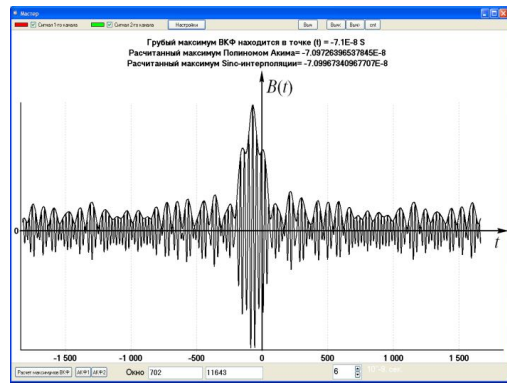
а) компенсація корисного сигналу на 50% (вихід 1-го корелятора)



б) компенсація сигналу завади на 50% (вихід 2-го корелятора)



в) повна компенсація корисного сигналу (вихід 1-го корелятора)



г) повна компенсація сигналу завади (вихід 2-го корелятора)

Рис. 5. Графіки ВКФ сигналів спільного джерела при роботі компенсатора

У Висновках наводяться основні наукові положення та результати, отримані при виконанні дисертаційних досліджень.

У Додатках представлені Акти про впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача підвищення точності звірення шкал просторово-рознесених еталонів часу і частоти за рахунок використання нового методу компенсації впливу багатопроменевої завади спільного джерела в пасивних радіотехнічних системах частотно-часової синхронізації. Ефект використання розробленого методу полягає у підвищенні точності синхронізації БПСС в 4-5 разів.

При цьому отримано наступні теоретичні та практичні результати:

1. Розроблено новий метод компенсації заважаючого впливу багатопроменевої завади на результат звірення просторово-рознесених еталонів часу і частоти, який дозволяє подавляти, як корельовану, так і некорельовану складові багатопроменевої завади навіть у випадку, коли рівень завади перевищує рівень корисного сигналу.

2. Обґрунтовано і розроблено нові принципи побудови компенсатора багатопроменевої завади в БПСС, які базуються на припущенні, що в одному з пунктів синхронізації багатопроменева завада відсутня, або має мінімально допустимий енергетичний рівень. Запропонований порядок обробки дозволяє виділи-

ти корисний сигнал та отримати завадову складову сигналу із суміші вхідного сигналу для подальшої компенсації завади.

3. Синтезовано структурну схему компенсатора багатопроменевої завади, яку апробовано в ході експериментальних досліджень. Структура компенсатора відповідає розробленим теоретичним положенням і реалізує компенсацію корисного сигналу з виділенням сигналу завади, а далі – подавлення завади і отримання синхронізуючого сигналу без впливу багатопроменевості.

4. На основі порівняльного аналізу відомих методів боротьби з пасивними корельованими завадами, до яких відносяться багатопроменеві завади, розроблена математична модель БПСС, відмінною рисою якої є наявність нового порядку виконання операцій щодо рекурентного виділення компенсуючого сигналу з метою подавлення багатопроменевості.

5. Розроблено алгоритм роботи компенсатора багатопроменевої завади у БПСС. В основу роботи нового алгоритму покладено принципи кореляційної компенсації, які полягають у виділенні та подавленні корисного сигналу, що дозволяє отримати складові багатопроменевої завади та здійснити їх компенсацію.

6. Експериментально підтверджено працездатність запропонованого алгоритму роботи компенсатора, застосування якого забезпечило подавлення багатопроменевої завади в отриманих сигнальних вибірках та зменшення середньоквадратичного відхилення похибки синхронізації просторово-рознесених еталонів часу і частоти у 4-5 разів.

7. Запропоновано нові програмно-апаратні рішення практичної реалізації компенсатора багатопроменевої завади в БПСС, які спільно з новими принципами обробки результатів вимірювань дозволили отримати експериментальні дані щодо подавлення багатопроменевої завади при використанні сигналу Харківського телецентру формату DVB-T2 в режимі “нульової бази” за наявності інтенсивної багатопроменевості. Завдяки реалізованому методу завада була подавлена до рівня, при якому результати звірення еталонів практично зрівнялися з результатами звірень у беззавадовій обстановці, а середньоквадратичні відхилення вимірювань склали 12-14 нс проти 3-5 нс за відсутності завад.

8. Результати дисертаційної роботи впроваджено в держбюджетні НДР, які виконувались в ХНУРЕ, Національному науковому центрі “Інститут метрології”, Метрологічному центрі військових еталонів, а також в навчальний процес предметного курсу: “Радіонавігаційні мережі і системи синхронізації”, що підтверджується 4 Актами про впровадження.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Коваль Ю.А. Погрешности частотно-временной синхронизации при использовании сигналов телекоммуникационных геостационарных спутников с учетом модели их перемещения [текст] / Ю.А. Коваль, Е.А. Иванова, А.А. Костыря, С.И. Ушаков и др.// Східно - Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2009. – Вип. 4/10 (40). – С. 25-29.

2. Костыря А.А. Экспериментальные исследования потенциальной точности частотно-временной синхронизации при использовании сигналов цифрового

наземного телевидения [текст]/ А.А. Костыря, В.Н. Науменко, С.А. Плехно, С.И. Ушаков//Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2014. – Вип. 1/9(67). – С.24-28.

3. Должиков В.В. Исследования макета пассивной системы синхронизации по фазе несущей частоты аналогового телевизионного сигнала [текст] / В.В. Должиков, А. А. Костыря, С.И. Ушаков и др.// Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: ХНУРЭ, 2014. – Вып. 178. – С. 111 - 118.

4. Коваль Ю.А. Квадратурная обработка сигналов в моделях пассивных систем частотно-временной синхронизации [текст] / Ю.А. Коваль, А.А. Костыря, В.Н. Науменко, С.А. Плехно, С.И. Ушаков // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – Вып. 182. – С. 79 - 86.

5. Костыря А.А. Компенсация многолучевости сигнала общего источника в пассивной системе синхронизации времени и частоты [текст] / А.А. Костыря, В.Н. Науменко, С.А. Плехно, С.И. Ушаков // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – Вып. 183. – С. 13 - 17.

6. Костыря А.А. Экспериментальная проверка алгоритма компенсации многолучевой помехи в пассивной системе синхронизации времени и частоты [текст] / А.А. Костыря, В.Н. Науменко, С.А. Плехно, С.И. Ушаков // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: ХНУРЭ, 2016. – Вып. 184. – С. 94 - 99.

7. Ушаков С.І. Перспективи розвитку космічної складової системи управління Збройних Сил України [текст] / Ушаков С.І., Щербина О.В., Випорханюк Д.М.// “Проблеми створення, розвитку та застосування інформаційних систем спеціального призначення” 18-та науково-практична конф. Тези доповідей. – Житомир: ЖВІ НАУ, 2011. – Ч.1. – С. 170.

8. Alexander Kostyria, Sergey Plehno, Vitaliy Naumenko, Sergey Ushakov. Experimental estimation of potential accuracy synchronization of time and frequency standards by using signals of digital TV [text] // International Conference TCSET'2014 “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science”. – Lviv-Slavske, Ukraine, 2014. – p. 794.

9. Ушаков С.И. Результаты экспериментальных исследований макета фазовой пассивной системы синхронизации времени и частоты [текст] / С.И. Ушаков, С.А. Плехно, В.Н. Науменко // Матеріали ХІХ Міжнарод. мол. форуму “Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке”. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – Том 3. – С. 63-64.

10. Костыря А.А. Компенсация влияния многолучевости в многопозиционной пассивной системе синхронизации времени и частоты [текст] / А.А. Костыря, С.И. Ушаков, В.Н. Науменко // Матеріали науково-техн. конференції “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки” 15-18 грудня 2015р. – К.: ЦНДІ ОВТ, 2015. – С. 349-351.

11. Костыря О.О. Комплексні системи візуалізації інформації стаціонарних та пересувних диспетчерських пунктів керування [текст] / О.О. Костыря, С.О. Товстик, С.І. Ушаков // Матеріали науково-техн. конференції “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки” 15-18 грудня 2015р. – К.: ЦНДІ ОВТ, 2015. – С. 388-389.

12. Ушаков С.И. Компенсация многолучевой помехи в пассивной системе синхронизации времени и частоты [текст] / С.И. Ушаков, В.Н. Науменко // Материалы XX Юбилейного Международного молодежного форума “Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке”. – Харьков: ХНУРЭ, 2016. – Том 3. – С. 50-51.

АНОТАЦІЯ

Ушаков С.І. Методи компенсації впливу багатопроменевості сигналу спільного джерела в пасивних радіотехнічних системах частотно-часової синхронізації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2016.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача підвищення точності звірення шкал просторово-рознесених еталонів часу і частоти за рахунок використання нового методу компенсації впливу багатопроменевої завади спільного джерела в пасивних радіотехнічних системах частотно-часової синхронізації. Використання розробленого методу забезпечило підвищенні точності синхронізації багатопозиційної пасивної системи в 4-5 разів.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволили розробити ефективний метод компенсації багатопроменевої завади навіть тоді, коли її рівень перевищує рівень корисного сигналу. При цьому реалізовано модифікований метод кореляційної компенсації за умови, якщо хоча б одному з пунктів, що синхронізуються, багатопроменева завада відсутня, або ж не перевищує допустимого рівня.

Ключові слова: синхронізація часу і частоти, багатопозиційна пасивна система синхронізації, похибки синхронізації, пасивний метод спільного охоплення, багатопроменевий сигнал, взаємкореляційна обробка, оцінка часового положення.

АННОТАЦИЯ

Ушаков С.И. Методы компенсации влияния многолучевости сигнала общего источника в пассивных радиотехнических системах частотно-временной синхронизации. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2016.

В диссертационной работе решена актуальная научно-прикладная задача повышения точности сличения шкал пространственно-разнесенных эталонов времени и частоты за счет использования нового метода компенсации влияния многолучевой помехи общего источника в пассивных радиотехнических системах частотно-временной синхронизации. Использование разработанного метода обеспечило повышении точности синхронизации многопозиционной пассивной системы в 4-5 раз.

Наличие многолучевого сигнала снижает отношение сигнал/шум в принимаемом сигнале, что, в свою очередь, вызывает увеличение погрешности синхронизации. Если время запаздывания дополнительного луча (лучей) меньше

длительности сигнальной выборки, то прием сигнала еще более усложняется наличием частично-коррелированной помехи, уровень и степень корреляции которой увеличивается при уменьшении времени запаздывания и может привести к увеличению вероятности ложной синхронизации.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать эффективный метод компенсации многолучевой помехи даже в условиях, когда ее уровень превышает уровень полезного сигнала.

При этом получены следующие научные результаты:

1. Впервые разработан метод компенсации влияния многолучевости сигнала общего источника на результирующую погрешность синхронизации в многопозиционных пассивных системах синхронизации (МПСС), который, в отличие от известных методов, позволяет осуществить одновременную компенсацию частично-коррелированных и некоррелированных многолучевых помех, находящихся в стробе временного разрешения.

2. Впервые разработана математическая модель многопозиционной пассивной системы синхронизации, в которой в отличие от известных моделей систем сличения шкал времени и частоты реализована компенсация многолучевого распространения сигнала общего источника.

3. Впервые разработаны принципы построения компенсаторов многолучевости сигнала в МПСС, которые, в отличие от известных, основаны на выделении и компенсации сначала полезного сигнала, после чего становится возможным выделение помехи и ее последующее подавление.

В области практических разработок и экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. Разработан новый алгоритм компенсатора многолучевой помехи в многопозиционных пассивных системах синхронизации. В основу работы алгоритма положен модифицированный принцип корреляционной компенсации, состоящий в первоочередном выделении и подавлении полезного сигнала, что дает возможность получить составляющие многолучевой помехи для их дальнейшей компенсации.

2. Синтезирована структура компенсатора многолучевости сигнала общего источника в МПСС. Отличительной особенностью предложенного компенсатора является то, что его работа построена на выделении полезного сигнала, свободного от многолучевой помехи, который далее и используется для формирования компенсирующего сигнала.

3. Экспериментально подтверждена возможность компенсации одновременно действующих во временном стробе разрешения некоррелированной и частично-коррелированной многолучевой помехи, что даже при их значительном энергетическом уровне (более уровня полезного сигнала) делает возможным выполнение высокоточных сличений эталонов времени и частоты.

4. Предложено новое программно-аппаратное решение реализации компенсатора многолучевости сигнала общего источника в МПСС и принципы обработки результатов измерений, что позволило впервые провести экспериментальные исследования макета МПСС с использованием сигналов Харьковского телецентра формата DVB-T2 в режиме “нулевой базы”. Использование компен-

сатора позволило снизить уровень помехового сигнала, обусловленного многолучевым приемом, что обеспечило снижение среднеквадратических отклонений ошибок измерений сдвига шкал эталонов времени и частоты в 4-5 раз.

Ключевые слова: синхронизация времени и частоты, многопозиционная пассивная система синхронизации, погрешности синхронизации, пассивный метод общего охвата, многолучевой сигнал, взаимокорреляционная обработка, оценка временного положения.

ABSTRACTS

Ushakov S.I. The methods compensation for the impact of multipath signal common sources of passive radio systems time-frequency synchronization. - Manuscript.

The thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences specialty 05.12.17 – radio and television systems. – Nationally Kharkov University of Radio Electronics, Kharkov, 2016.

In dissertation work the actual scientifically-applied task of increase of exactness of collation of scales of spatially-set about the standards of time and frequency is decided due to the use of new method of indemnification of influence of multiband hindrance of general source in the passive radio technical systems of frequency-sentinel synchronization. The use of the worked out method provided increase of exactness of synchronization of the multi position passive system in 4-5 times.

Theoretical and experimental research allowed to develop an effective method of compensation of multiband interference even when the level exceeds the level signal. This correlation is implemented modified method of compensation, provided that at least one of the items that are synchronized, Multi obstacle is missing or does not exceed the permissible level.

Keywords: multi positional passive systems of synchronization, the cross-correlation function, estimation of temporary provisions, passive method of synchronization, synchronization error, signal an external source, synchronization of time and frequency.

Підп. до друку 27.04.16. Формат 60x84 1/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 1,2. Тираж 100 прим. Ціна договірна.
Зам. 1/24 від 24.05.16.

Віддруковано в типографії ФОП Ардреев К.В.
61166, Харків, вул. Серпова, 4
Свідоцтво про державну реєстрацію
Серія В00 №966085 від 30.05.2003 р.