

УДК 681.375

О.В. Коломійцев

Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

КАНАЛ ВИМІРЮВАННЯ РАДІАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА ДЛЯ ЛАЗЕРНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Запропоновано канал вимірювання радіальної швидкості літального апарату (ЛА) для лазерної інформаційно – вимірювальної системи (ЛІВС) на основі модернізованого частотно – часового методу вимірювання (МЧЧМВ). Приведено оцінка точності вимірювання радіальної швидкості.

канал вимірювання радіальної швидкості літального апарату, лазерна інформаційно-вимірювальна система

Вступ

Постановка проблеми. В даний час досягнутий високий рівень розвитку лазерної техніки, який відкриває широкі можливості для вирішення завдань високоточного вимірювання параметрів руху (ВПр) ЛА. Такі можливості обумовлені, в першу чергу, використанням в ЛІВС джерел випромінювання на лазерах, що володіють великою несучою частотою і спектральною яскравістю, монохроматичністю, просторовою та часовою когерентністю.

Завдяки цьому в ЛІВС можливо формування понадвузьких діаграм спрямованості (ДС) ($\sim 10^{-4}$ рад) і отримання великих коефіцієнтів посилення при порівняно малих оптичних антенах. Лазерні джерела випромінювання дозволяють генерувати гігантські по потужності і ультракороткі по тривалості імпульси, що забезпечує якісний взаємозв'язок і високу точність ВПр ЛА [1].

При цьому імпульсний характер сигналу, не дозволяє високоточно вимірювати радіальну складову швидкості ЛА. У зв'язку з цим пропонується новий принцип її вимірювання МЧЧМВ, що додатково використовує, аналогічно радіотехнічним системам, попереднє фазове автопідстроювання частоти

(ФАПЧ) на частоті міжмодового биття.

Аналіз останніх публікацій. Аналіз публікацій показує, що недоліками квантово-оптичної системи «Сажень» [2] є мала точність вимірювання похилої дальності на великій відстані до космічного апарата та кутів азимута і місця, неоперативність супроводження та неможливість вимірювання кутової і радіальної швидкостей.

Метою статті є представлення результатів розробки наукових і науково-технічних пропозицій щодо створення каналу вимірювання радіальної швидкості при одночасному інформаційному взаємозв'язку з ЛА на основі додаткового виділення мод (частот міжмодових биттів) із синхронізованого одномодового багаточастотного спектра випромінювання лазера для синтезу ЛІВС з МЧЧМВ.

Виклад основного матеріалу

Шляхи підвищення відношення сигнал/шум (q), зв'язані, перш за все, із застосуванням методів компенсації шумових складових і поліпшенням енергетичних характеристик лазерних передавачів, доповнити при цьому вузькосмуговою фільтрацією, що вносить свої труднощі в реалізацію системи.

Використаний в ЛІВС вимірювальник частоти Доплера по методу рахунку числа перетинів сигналом порогу на частоті биття оптичного сигналу, що приймається в шумах і опорного, не є ефективним, оскільки середньоквадратична погрішність методу дорівнює

$$\delta v = \frac{\sqrt{2}\alpha}{\pi^{3/2} \cdot \sqrt{q}}, \quad (1)$$

де α – ширина спектру шуму на виході компаратора.

Із (1) витікає, що для отримання високої точності на оптичній несучій потрібне значне q , або вузька смуга пропускання. Тому при рішенні проблем синтезу ЛІВС перспективним напрямом є розробка методу вимірювання, аналогічно радіотехнічному, з використанням частот міжмодового биття імпульсного випромінювання лазера і їх вузькосмуговою фільтрацією. При цьому з'являється можливість підвищення точності вимірювання доплерівської частоти за рахунок використання ФАПЧ при стеженні за частотою міжмодового биття сигналу, що приймається, і порівнюючи її з опорною $6\Delta v_m$ (рис. 2). Радіальна швидкість при використанні МЧЧМВ таким чином залежить від частоти Доплера ($\Delta v_{m \text{ допл}}$)

$$\dot{R} = \frac{\Delta v_{m \text{ допл}} \cdot C}{6\Delta v_m}, \quad (2)$$

та при реальних даних $\dot{R} \approx 7 \cdot 10^3$ (м/с) і $C \approx 3 \cdot 10^8$ (м/с) – швидкості світла, складатиме $\Delta v_{m \text{ допл}} \approx 2 \cdot 10^3$ (Гц).

При цьому погрішність вимірювання радіальної складової швидкості руху ЛА $\sigma_{\dot{R}}$ може бути достатньо мала зважаючи на високу стабільність $6\Delta v_m$ і малу погрішність швидкості світла

$$\sigma_{\dot{R}} = \frac{\sigma_{\Delta v_{m \text{ допл}}}}{6\Delta v_m} C. \quad (3)$$

Запропонований канал вимірювання радіальної швидкості ЛА для ЛІВС з МЧЧМВ включає (рис. 1, 2) керуючий елемент (КЕ), блок керування дефлекторами (БКД), лазер з накачкою (Лн), селектор подовжніх мод (СПМ), блок дефлекторів (БД), передачу оптику (ПРДО), приймачу оптику (ПРМО), фотодетектор (ФТД), широкосмуговий підсилювач (ШП), інформаційний блок (ІБ) резонансні підсилювачі (РП) настроєні на відповідні частоти міжмодових биттів, формувачі імпульсів (ФІ), схему «І», лічильник (Лч), змішувачі (ЗМ), фільтр (Ф), формувач мірних імпульсів (ФМІ), дешифратор (ДШ), ФАПЧ на частоті міжмодових биттів, керуючий генератор (КГ), опорний генератор (ОГ) з частотою підставки Δv_n , електронно-цифрову обчислювальну машину (ЕЦОМ), блок відображення інформації (БВІ), $6\Delta v_m$ - введення опорної частоти ($6\Delta v_{m \text{ оп}}$) від передаючого лазера (Лн+СПМ) та 1 – вимірювальний сигнал, 2 – інформаційний сигнал, I – структур-

на схема реалізації стежучого принципу вимірювання і II – структурна схема вимірювання радіальної складової швидкості руху ЛА.

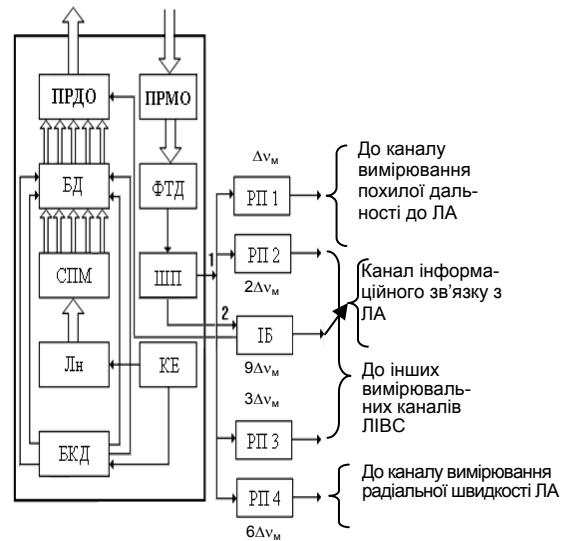


Рис. 1. Загальна схема каналу вимірювання радіальної швидкості в структурі ЛІВС

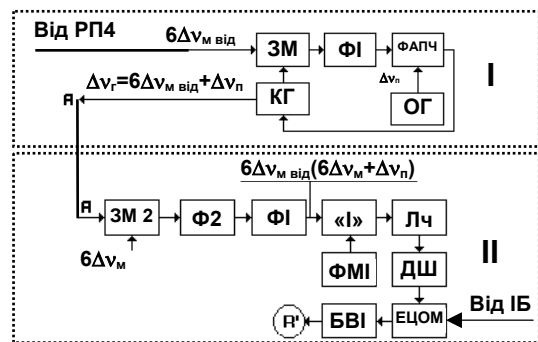


Рис. 2. Функціональна схема лазерного каналу вимірювання радіальної швидкості

Робота запропонованого каналу полягає в наступному (рис. 1, 2). Із синхронізованого одномодового багаточастотного спектра випромінювання YAG:Nd³⁺ – лазера (Лн) за допомогою СПМ виділяються необхідні пари частот для створення:

– інформаційного каналу зв'язку, при умові використання сигналу з різницею частот міжмодових биттів

$$\Delta v_{101} = v_{10} - v_1 = 9\Delta v_m;$$

– рівносигнального напрямку (РСН) на основі формування сумарної діаграм спрямованості (ДС), завдяки частково перетинаючихся 4-х парціальних ДС, при умові використання різницею частот міжмодових биттів

$$\Delta v_{54} = v_5 - v_4 = \Delta v_m, \quad \Delta v_{97} = v_9 - v_7 = 2\Delta v_m,$$

$$\Delta v_{63} = v_6 - v_3 = 3\Delta v_m, \quad \Delta v_{82} = v_8 - v_2 = 6\Delta v_m.$$

Сигнал частотою міжмодових биттів $9\Delta v_m$, минаючи БД потрапляє на ПРДО де зміщується з сигналом від ІБ та формує передавану інформацію для ЛА (рис. 1, 2). Водночас сигнал частот міжмодових биттів Δv_m , $2\Delta v_m$, $3\Delta v_m$ та $6\Delta v_m$ потрапляє на БД, який створений з 4-х дефлекторів. Парціальні ДС попарно зустрічно сканують БД у кожній із двох ортогональних площин.

Період сканування задається БКД, який разом з Лн забезпечується необхідним живленням від КЕ. Проходячи через ПРДО, груповий лазерний імпульсний сигнал пар частот: $v_5, v_4 = \Delta v_m$, $v_9, v_7 = 2\Delta v_m$, $v_6, v_3 = 3\Delta v_m$, $v_8, v_2 = 6\Delta v_m$ фокусується в скануєми крапки простору, оскільки здійснюється зустрічне сканування двома парами ДС у кожній із двох ортогональних площин α і β , або X і Y, при цьому $v_{10}, v_1 = 9\Delta v_m$ – проходить вдовж РСН.

Прийняті ПРМО відбиті від ЛА інформаційні та в процесі сканування чотирьох ДС вимірювальні лазерні імпульсні сигнали і огинаючи сигнали ДС за допомогою ФТД перетворюються в електричні імпульсні сигнали на різницевиx частотах міжмодових биттів, посилювані ШП, і розподіляються в ІБ $9\Delta v_m$ отр для обробки приймаємої інформації від ЛА та по РП, побудованих на відповідні частоти: Δv_m , $2\Delta v_m$, $3\Delta v_m$, $6\Delta v_m$ для виділення вимірювальної інформації про ЛА. При цьому імпульсні сигнали радіочастоти, що надходять з РП 4 (РП $6\Delta v_m$) – формує сигнал радіальної швидкості, а РП1 (РП Δv_m), РП2 (РП $2\Delta v_m$) і РП3 (РП $3\Delta v_m$) – формують сигнали для інших вимірювальних каналів ЛІВС.

Принцип вимірювання радіальної швидкості ЛА для ЛІВС полягає в наступному (рис. 1, 2).

На першій змішувач (ЗМ1), від РП 4 (РП $6\Delta v_m$) подається сигнал із частотою $6\Delta v_m$ від, який зміщується через зворотній зв'язок зі сумішшою частот $6\Delta v_m$ від + $v_{м п}$, від керуючого генератора та фільтрується. У фазовій автопідстройці частоти на частоті міжмодових биттів цей сигнал зміщується з частотою $v_{п}$ від опорного генератора. Отриманий сигнал з частотою Δv_r з виходу А керуючого генератора подається на вхід другого змішувача (ЗМ2), де зміщується з опорною частотою $6\Delta v_m$.

Сигнал різницевої частоти $6\Delta v_m$ від $(\Delta v_m - v_{м п})$, отриманий з виходу Ф2, через формувач імпульсів, надходить на схему "Г". На лічильник проходить пачка імпульсів, обумовлена мірним інтервалом від ФМІ. Виділене дешифратором кількість рахункових імпульсів пропорційне частоті $v_{м допл}$, перетворюється в ЕЦОМ у цифроаналоговий сигнал, що у цифровому вигляді відображає радіальну швидкість ЛА на цифровому табло блоку відображення інформації.

Висновки

Таким чином, забезпечення високої точності ВПР ЛА, за умовою використання МЧЧМ вимірювання, пов'язано із задоволенням жорстких вимог, що пред'являються до випромінювання одномодового багаточастотного лазера, тобто високоточної синхронізації подовжніх мод і стабілізації частот міжмодового биття [3, 4]. Введення ж ФАПЧ міжмодового биття звужує смугу пропускання $P=a$, і збільшує відношення сигнал/шум (1), що істотно дозволяє підвищити точність вимірювань радіальної швидкості в ЛІСВ.

В загалі, запропонований канал вимірювання радіальної швидкості ЛА забезпечить:

– створення інформаційного каналу взаємозв'язку з ЛА, при умові використання сигналу з різницевиx частот міжмодових биттів

$$\Delta v_{101} = v_{10} - v_1 = 9\Delta v_m;$$

– створення рівносигнального напрямку на основі формування сумарної ДС, завдяки частково перетинних чотирьох парціальних ДС, при умові використання різницевиx частот міжмодових биттів:

$$\Delta v_{54} = v_5 - v_4 = \Delta v_m, \quad \Delta v_{97} = v_9 - v_7 = 2\Delta v_m;$$

$$\Delta v_{63} = v_6 - v_3 = 3\Delta v_m, \quad \Delta v_{82} = v_8 - v_2 = 6\Delta v_m;$$

– сканування чотирма ДС в заданому куті;
– вимірювання радіальної швидкості ЛА;
– синтезувати частку ЛІВС з МЧЧМВ.

Список літератури

1. Коломійцев О.В. Лазерна інформаційно-вимірювальна система // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 8(36). – С. 186-189.
2. Полігонні лазерні та оптико-електронні вимірювальні засоби: Конспект лекцій. Част. II / С.В. Тюрін, І.С. Шостко, В.А. Романюк, В.В. Пономарьов, Р.В. Павлович. – Х.: ХВУ, 1998. – 174 с.
3. Деклараційний патент України на винахід 64961А, Україна, 7 МПК G01S17/42. Канал вимірювання радіальної швидкості літальних апаратів на підставі модернізованого частотно-часового методу вимірювання / Г.В. Альошин, О.В. Коломійцев, Д.П. Пашков – № 2003032667; Заяв. 27.03.2003; Опубл. 17.03.2004; Бюл. № 11. – 8 с.
4. Деклараційний патент України на винахід 65099А, Україна, 6 МПК G01 S 17/42, G01 S 17/66. Модернізований частотно-часовий метод вимірювання параметрів руху літальних апаратів / Г.В. Альошин, О.В. Коломійцев, Д.П. Пашков – № 2003054908; Заяв. 29.05.2003; Опубл. 15.03.2004; Бюл. № 3. – 8 с.

Надійшла до редколегії 1.03.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Альошин, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.