



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 107289

(13) C2

(51) МПК

G01P 3/36 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2013 11573

(22) Дата подання заявки: 01.10.2013

(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.12.2014

(41) Публікація відомостей про заявку: 10.06.2014, Бюл.№ 11

(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.12.2014, Бюл.№ 23

(72) Винахідник(и):

Землянський Володимир Михайлович (UA),
Гусєв Михайло Олегович (UA)

(73) Власник(и):

Землянський Володимир Михайлович,
вул. Шовковична, 20, кв. 12, м. Київ-24,
01024 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:

UA 102646 C2; 25.07.2013

UA 98352 C2; 10.05.2012

UA 99838 C2; 10.10.2012

UA 98377 C2; 10.05.2012

UA a201111749; 10.08.2012

UA 41580 A; 17.09.2001

US 5781283; 14.07.1998

RU 2223504 C1; 10.02.2004

Дубнищев Ю.Н. Методы лазерной

доплеровской анемометрии/ Ю.Н.

Дубнищев, Б.С. Ринкевичюс. - М.: Наука,

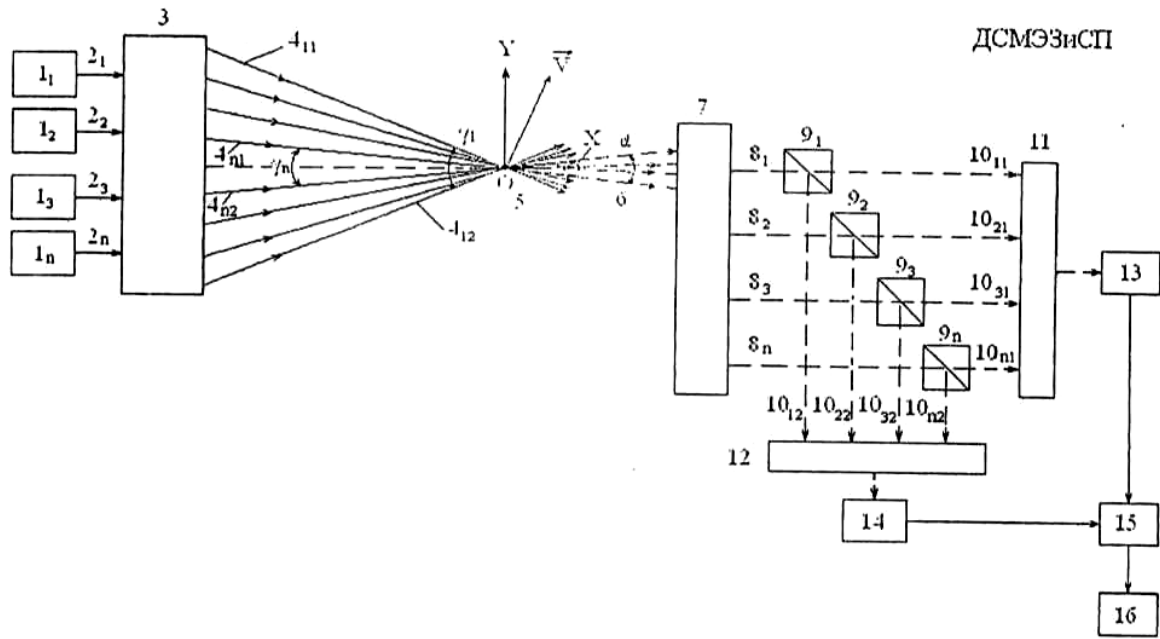
1982. - С.67-69

(54) ДОПЛЕРІВСЬКИЙ СПОСІБ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО БАГАТОХВИЛЬОВОГО ЗОНДУВАННЯ І СИНФАЗНОГО ПРИЙОМУ

(57) Реферат:

Доплерівський спосіб багатохвильового електромагнітного зондування і синфазного прийому (ДСБЕЗіСП), в якому використовуються "n"- число когерентних джерел випромінення на різних довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, а також симетричного прийому розсіяного випромінення з просторовим розділенням їх по довжинах хвиль з подальшою фазовою просторовою фільтрацією, яка забезпечує синфазний прийом і детектування сигналів, сформованих при змішуванні і квадратичному детектуванні сумарного розсіяного випромінення на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$.

UA 107289 C2



Винахід належить до вимірювальної техніки та може використовуватися для вимірювання швидкості руху.

Відомий спосіб вимірювання швидкості [1], оснований на зондуванні рухомого об'єкта лазерним пучком на довжині хвилі λ_1 з подальшим оптичним змішуванням розсіяного електромагнітного випромінювання з опорним пучком і квадратичним детектуванням, в результаті якого формується доплерівський сигнал, частота якого залежить від швидкості, довжини хвилі λ_1 та напрямку прийому.

Проте відомий спосіб має невисоке відношення сигнал/шум, оскільки при збільшенні кутової приймальної апертури спостерігається не тільки ріст потужності розсіяного випромінювання, що приймається, але також розширення спектру доплерівського сигналу, зменшення сигнал/шум і зниження точності вимірювання швидкості.

Найбільш близьким технічним рішенням є доплерівський спосіб лазерного зондування [2] рухомого об'єкта (наприклад, сферичної часточки) двома когерентними пучками на одній довжині хвилі λ_1 , що мають зсув по частоті відносно один одного рівний Ω_m і перетинаються в зоні вимірювання під кутом γ_1 з подальшим прийомом розсіяного випромінювання в кінцевій кутовій апертурі, змішуванням двох розсіяних пучків і квадратичним детектуванням, в результаті якого виділяється сигнал на доплерівській частоті, величина якого залежить від швидкості об'єкта \vec{V} при заданих довжині хвилі λ_1 і γ_1 .

Однак, цей спосіб має суттєвий недолік, який полягає в тому, що із зростанням кутової приймальної апертури при прийманні розсіяного випромінювання спостерігається зниження глибини модуляції і відношення сигнал/шум із-за зменшення ступеня фазового узгодження елементарних доплерівських сигналів.

В основу винаходу поставлена задача збільшення відношення сигнал/шум, а отже і точності вимірювання доплерівської частоти, за рахунок використання режиму багатохвильового зондування парами пучків на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, кути зондування між якими $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ узгоджені між собою, а при симетричному прийманні розсіяного випромінювання забезпечується фазова просторова узгоджена фільтрація сигналів по кожній із довжин хвиль λ_i , що забезпечує синфазний прийом доплерівських сигналів, частоти яких не залежать від довжин хвиль $\lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$.

Поставлена задача в пропонованому способі вирішується шляхом зондування рухомого об'єкта додатково "n"- числом пар когерентних пучків на довжинах хвиль $\lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_i, \lambda_n$ ($i = 2, 3, \dots, n$) із зсувом частоти одного із пучків із пари на величину Ω_m , які перетинаються в зоні вимірювання під узгодженими кутами $\gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n$, що встановлюються відповідно до співвідношення

$$\gamma_i = 2 \arcsin \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \sin \frac{\gamma_1}{2} \right),$$

де $i=2,3,\dots,n$,

при цьому всі ці пучки лежать в площині, утвореній пучками на довжині хвилі λ_1 , а бісектриси кутів $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n$ всіх пар пучків відповідно на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ співпадають в просторі, при цьому кожна пара пучків на довжині хвилі λ_i ($i = 1, 2, \dots, n$) має стани поляризації (які можуть відрізнятися для інших пар пучків з λ_i), які відповідають умовам зондування і симетричного прийому, за яких спостерігається формування фазово-спряжених доплерівських сигналів з можливістю регулювання фази одного із пучків кожної пари на довжині хвилі λ_i , далі розсіяне випромінювання на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ збирається в кутовій апертурі, напрям осі симетрії якої забезпечує виконання умов симетричного прийому, за якого спостерігається формування фазово-спряжених доплерівських сигналів на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ потім розсіяне випромінювання, яке приймається, просторово розділяється по довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, при цьому кожний розсіяний пучок на відповідній довжині хвилі λ_i підлягає фазовій

просторовій фільтрації (ФПФ), погоджений з відносним розміром фондованого об'єкта $q = \frac{2\pi d}{\lambda_i}$ {d

- діаметр об'єкта) із забезпеченням формування двох просторово розділених і узгоджених розсіяних пучків, кожен з яких підлягає в подальшому послідовно змішування і квадратичному детектуванню, в результаті якого формуються два доплерівські сигнали на одній частоті, які знаходяться і в протифазі, котрі потім віднімаються, частоти цих двох сигналів однакові і не залежать від довжин хвиль електромагнітного випромінювання $\lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$, які використовуються для зондування, і крім того, забезпечується синфазний прийом з високим співвідношенням сигнал/шум при заглушенні низькочастотних завад, які синфазні.

На фіг. 1 представлена блок-схема пристрою, яка реалізує пропонований доплерівський спосіб багатохвильового електромагнітного зондування і синфазного прийому (ДСБЕЗІСП). Пристрій (фіг. 1) містить: $1_1, 1_2, 1_3, \dots, 1_n$ - джерела когерентного електромагнітного випромінювання, кожен з яких випромінює колімований вузьконаправлений пучок $2_1, 2_2, 2_3, \dots, 2_n$ відповідно на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$. Ці пучки спрямовуються на вхід блока розщеплювача 3, на виході якого формуються пари пучків 4_{11} і 4_{12} - на довжині хвилі $\lambda_1, 4_{21}$ і 4_{22} - на довжині хвилі $\lambda_2, 4_{31}$ і 4_{32} - на довжині хвилі λ_3 і т.д. 4_{n1} і 4_{n2} - на довжині хвилі λ_n однакової потужності, які перетинаються в зоні вимірювання 5 під кутами, відповідно рівними $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n$, розсіяний пучок 6, 7 - блок просторового розділення пучка 6 на n -число пучків $8_1, 8_2, 8_3, \dots, 8_n$ відповідно по довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ $9_1, 9_2, 9_3, \dots, 9_n$ - фазові просторові фільтри (ФПФ), узгоджені з відносним розміром сферичного об'єкта, який проходить через зону вимірювання 5 зі швидкістю \bar{V} , на виході кожного ФПФ - 9_i , формуються відповідно два пучки 10_{11} і $10_{12}, 10_{21}$ і $10_{22}, 10_{31}$ і $10_{32}, \dots, 10_{n1}$ і 10_{n2} ; 11 і 12 - блоки підсумовування пучків відповідно всіх пучків $10_{11}, 10_{21}, 10_{31}, \dots, 10_{n1}$, а також всіх пучків $10_{12}, 10_{22}, 10_{32}, \dots, 10_{n2}$, 13 і 14 - квадратичні детектори, 15 - диференціальний підсилювач, 16 - доплерівський процесор.

Пристрій (фіг. 1), який реалізує пропонований спосіб, працює наступним чином. Нехай джерела когерентного електромагнітного випромінювання $1_1, 1_2, \dots, 1_n$, наприклад в оптичному діапазоні довжин хвиль, формують на їх виході вузьконаправлені пучки $2_1, 2_2, \dots, 2_n$ (n - число джерел випромінювання) відповідно на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$. Ці пучки спрямовуються на вхід блока розщеплювача 3, на виході якого формуються наступні пари пучків 4_{11} і 4_{12} - на довжині хвилі $\lambda_1, 4_{21}$ і 4_{22} - на довжині хвилі $\lambda_2, \dots, 4_{n1}$ і 4_{n2} - на довжині хвилі λ_n . При цьому пучки $4_{12}, 4_{22}, \dots, 4_{n2}$ мають фіксований зсув частоти Ω_m (який лежить в області радіодіапазона) по відношенню до відповідних пучків $4_{11}, 4_{21}, \dots, 4_{n1}$ і кожна пара пучків на довжині хвилі λ_i, \cdot ($i = 2, 3, \dots, n$) перетинається в зоні вимірювання 5 (яка співпадає з початком системи координат ОХУ) під відповідним кутом γ_i . Всі зондувальні пучки лежать в одній площині ОХУ і бісектриси кутів $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ співпадають з віссю ОХ. Окрім того, в блоці розщеплювача 3 передбачена можливість плавного регулювання фази одного із пучків кожної пари пучків на довжині хвилі λ_i ($i=2, 3, \dots, n$). Нехай через зону вимірювання проходить сферичний об'єкт, наприклад часточка, розмір якої сумірний з довжинами хвиль зондувальних пучків, яка рухається зі швидкістю \bar{V} .

Кути γ_i , під якими пари пучків на довжині хвилі λ_i перетинаються в зоні вимірювання, встановлюються у відповідності до співвідношення

$$\gamma_i = 2 \arcsin \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \sin \frac{\gamma_1}{2} \right),$$

де $i=2, 3, \dots, n$,

крім того, стани поляризації кожної пари пучків на λ_i , відповідають умовам зондування і симетричного прийому, при яких спостерігається формування фазово-спряжених доплерівських сигналів [3].

Розсіяне на часточки випромінювання 6 збирається в кутовій апертурі a , причому бісектриса цього кута співпадає з напрямком ОХ (вперед або назад, $\beta = 0$, або $\beta = 180^\circ$), чи лежать в площині ОХЗ, тобто спостерігається виконання умов симетричного прийому, при якому формуються фазово-спряжені доплерівські сигнали [3] на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$. Прийняте симетрично розсіяне випромінювання в кутовій апертурі далі за допомогою блока 7 просторово розділяється по довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ таким чином, що на виході блока 7 формуються пучки 8_1 - на довжині хвилі $\lambda_1, 8_2$ - на $\lambda_2, 8_n$ - на λ_n . Кожний розсіяний пучок $8_i, \cdot$ на довжині хвилі λ_i , далі направляється на відповідний фазовий просторовий фільтр (ФПФ) 9_i , синтез якого виконується у відповідності до умови формування на його виході двох пучків 10_{i1} і 10_{i2} , при змішуванні яких на виході квадратичного детектора формуються протифазні доплерівські сигнали [4]. Всі пучки з першого виходу кожного ФПФ - 9_i далі підсумовуються в блоці 11 і потім направляються на квадратичний детектор, наприклад фотоприймач 13. Відповідно всі пучки з других виходів кожного ФПФ 9_i , а саме - $10_{12}, 10_{22}, \dots, 10_{n2}$ також підсумовуються в блоці 12 і далі направляються на квадратичний детектор 14, наприклад фотоприймач. Вихідні доплерівські сигнали, сформовані на виході детекторів 13 і 14, знаходяться в протифазі і після їх віднімання в диференціальному підсилювачі 15 надходять в доплерівський процесор 16. Доплерівський сигнал на виході детектора 13 являє собою суперпозицію " n " - числа синфазних доплерівських сигналів на одній доплерівській частоті, яка не залежить в даному випадку від довжини хвилі λ_i зондувальних пучків. Доплерівський сигнал на виході детектора 14 також являє собою суперпозицію " n " - числа синфазних доплерівських сигналів, сформованих від прийому розсіяного випромінювання на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, який відрізняється по фазі від

доплерівського сигналу на виході детектора 13 на 180° . Низькочастотні завади на виході детектора 13 і 14 синфазні, тому після їх віднімання в диференціальному підсилювачі 15 спостерігається їх компенсація при суттєвому зростанні на порядок і більше відношення сигнал/шум.

Даний спосіб доплерівського багатохвильового електромагнітного зондування і синфазного прийому можна реалізувати в пристрої з джерелами випромінювання у всьому діапазоні електромагнітних хвиль: в НВЧ-діапазоні, інфрачервоному, оптичному та ультрафіолетовому, а також в рентгенівському і гамма-діапазоні довжин хвиль. Нині створені лазерні джерела випромінювання для всього вказаного вище діапазону електромагнітного випромінювання.

Запропонований спосіб на відміну від прототипу дозволяє підвищити на порядок і більше відношення сигнал/шум, тобто ефективність прийому розсіяного випромінювання і відповідно точність вимірювання частоти доплерівського сигналу і швидкості, що їй відповідає. Це забезпечується за рахунок реалізації синфазного прийому і формування доплерівських сигналів в протифазі після здійснення фазової просторової фільтрації на різних довжинах хвиль електромагнітного когерентного випромінювання.

Джерела інформації:

1. Marumder M. K., Wankum O. I., Appl. Opt., 1970, v.9, №5. p. 633.

2. Дубнищев Ю. Н., Ринкевичус Б. С. Методы лазерной доплеровской анемометрии. - М.: Наука, 1982 г. - С. 67-69.

3. Землянский В. М. Измерение скорости потоков лазерным доплеровским методом. - К.: Виш. шк., 1987 г. - 177 с.

4. Землянский В. М., Чудесов А. П. Синтез противофазных симметричных пространственных фильтров для дифференциальной схемы когерентно-оптического преобразователя. Електроніка та системи управління. - 2008. - №4. -С. 15-21.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

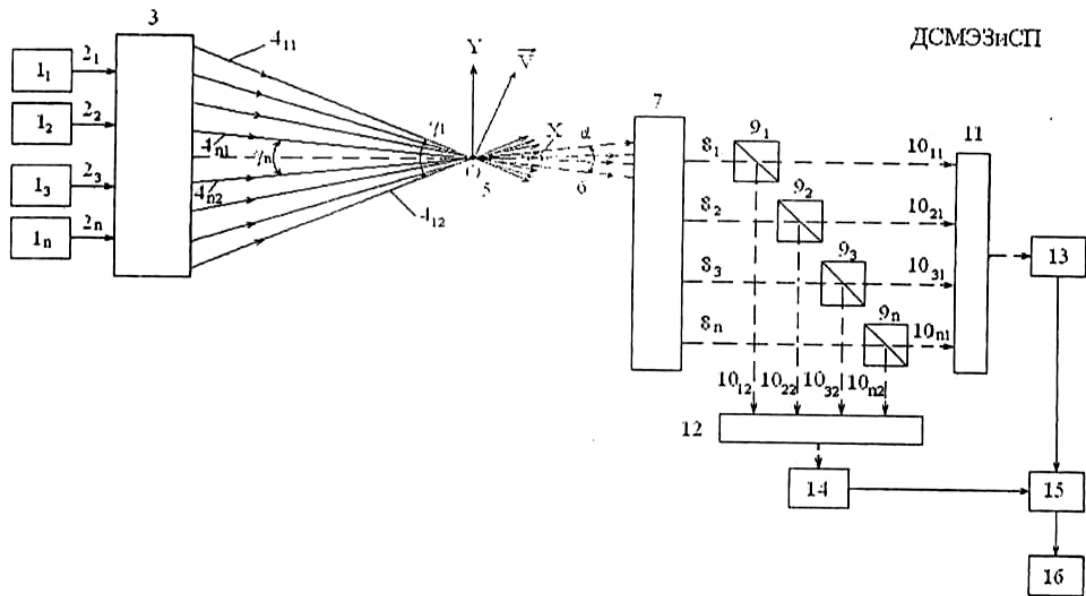
Доплерівський спосіб багатохвильового електромагнітного зондування і синфазного прийому, що оснований на зондуванні рухомого сферичного об'єкта, розмір якого сумірний з довжиною хвилі електромагнітного випромінювання λ_1 , двома когерентними вузьконаправленими пучками на довжині хвилі λ_1 , які мають зсув по частоті відносно один одного, рівний Ω_m , і перетинаються в зоні вимірювання під кутом γ_1 , в якій ці пучки мають плаский хвильовий фронт, з подальшим прийомом розсіяного випромінювання в кінцевій кутовій апертурі, його змішуванням і квадратичним детектуванням для виділення сигналу на доплерівській частоті, величина якого

залежить від швидкості об'єкта \vec{V} при заданих γ_1 і довжині хвилі λ_1 , який **відрізняється** тим, що рухомий об'єкт опромінюється додатково числом пар когерентних пучків на довжинах хвиль λ_1 , λ_3 , ..., λ_i , λ_n ($i = 2, 3, \dots, n$) із зсувом частоти одного із пучків із пари на величину Ω_m , які перетинаються в зоні вимірювання під узгодженими кутами $\gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n$, що встановлюються відповідно до співвідношення: $\gamma_i = 2 \arcsin \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \sin \frac{\gamma_1}{2} \right)$, де $i = 2, 3, \dots, n$, при цьому всі ці пучки

лежать в площині, утвореній пучками на довжині хвилі λ_1 , а бісектриси кутів $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n$ всіх пар пучків відповідно на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ співпадають в просторі, причому кожна пара пучків на довжині хвилі λ_i , ($i = 1, 2, \dots, n$) має стани поляризації (які можуть відрізнятися для інших пар пучків з λ_i), що відповідають умовам зондування і симетричного прийому, за яких спостерігається формування фазово-спряжених доплерівських сигналів з можливістю регулювання фази одного із пучків кожної пари на довжині хвилі λ_i , далі розсіяне випромінювання на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ збирається в кутовій апертурі, напрям осі симетрії якої забезпечує виконання умов симетричного прийому, за якого спостерігається формування фазово-спряжених доплерівських сигналів на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, потім розсіяне випромінювання, яке приймається, просторово розділяється по довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, при цьому кожний розсіяний пучок на відповідній довжині хвилі λ_i підлягає фазовій просторовій фільтрації (ФПФ), погодженій з відносним розміром зондованого об'єкта $q = \frac{2\pi d}{\lambda_i}$ (d - діаметр

об'єкта), із забезпеченням формування двох просторово розділених і узгоджених розсіяних пучків, кожен з яких підлягає в подальшому послідовному змішуванню і квадратичному детектуванню для формування двох доплерівських сигналів на одній частоті, які знаходяться і в протифазі, котрі потім віднімаються, частоти цих двох сигналів однакові і не залежать від довжин хвиль електромагнітного випромінювання $\lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$, які використовуються для

зондування, і крім того, забезпечується синфазний прийом з високим співвідношенням сигнал/шум при заглушенні низькочастотних завад, які синфазні.



Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601