



УКРАЇНА

(19) UA (11) 39445 (13) A

(51) 7 G01P3/36

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЛАЗЕРНИЙ ДОПЛЕРІВСЬКИЙ АНЕМОМЕТР

(21) 2000084754

(22) 09.08.2000

(24) 15.06.2001

(33) UA

(46) 15.06.2001, Бюл. № 5, 2001 р.

(72) Землянський Володимир Михайлович, Абу
Файсал Гасан, LB

(73) Землянський Володимир Михайлович

(57) 1. Лазерний доплерівський анемометр, що складається з оптично узгоджених лазера, світлодільника і дзеркала, частотозсувного пристрою з генератором, фокусуємого об'єктива, блока фотоприймача, що складається з діафрагми, інтерференційного світлофільтра і фотоприймача, а також вимірювача доплерівської частоти, **відрізняється** тим, що в нього додатково введені діафрагма з двома отворами, напівхвильова фазова пластина на шляху одного із зондуючих пучків, поляризацій-

ний розчинник, вхід якого оптично узгоджений з виходом світлодільника, другий блок фотоприймача, селективний фільтр, смуговий фільтр, змішувач, а також фільтр нижніх частот, причому входи двох блоків фотоприймачів оптично узгоджені з двома виходами поляризаційного розчинника, вихід одного фотоприймача через селективний фільтр сполучений з одним входом змішувача, другий вхід якого через смуговий фільтр сполучений з виходом другого фотоприймача, вихід змішувача через фільтр нижніх частот сполучений з входом вимірювача доплерівської частоти.

2. Пристрій за п. 1, **відрізняється** тим, що частотозсувний пристрій виконаний у вигляді фазового модулятора на основі електрооптичного двоприменопереломлюючого кристала, вхід якого сполучений з виходом генератора пилоподібного напруження.

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і може бути використаний для вимірювання потоків рідини або газу.

Відомі лазерні доплерівські анемометри (ЛДА) [1], що включають лазер, інтерферометр Майкельсона, фотоприймач і вимірювач доплерівської частоти. Інтерферометр забезпечує оптичне зміщення опорного і розсіяного променів під кутом 180° випромінювання, тому недоліком даного пристрою є залежність ширини спектра доплерівського сигналу від кутової розбіжності лазерних зондуючих пучків, а також неможливість вимірювання проекції вектора швидкості на напрямок перпендикулярний оптичній осі схеми.

Цей недолік відсутній у лазерному доплерівському анемометрі (прототип) [2], який включає оптично узгоджені лазер, світлодільник і дзеркало, частотозсувний пристрій з високочастотним генератором, фокусуєчий об'єктив, блок фотоприймача, що складається з діафрагми, інтерференційного світлофільтра і фотоприймача, а також вимірювач доплерівської частоти.

Недолік даного ЛДА - мала чутливість, збільшувати яку можливо тільки шляхом збільшення кута γ між зондуючими пучками, що викликає необхідність збільшувати розмір апертури фокусуємого об'єктива, тобто габарити і вартість ЛДА, що в ряді випадків недопустимо. Наприклад, при вимірюван-

ні малих швидкостей потоків у важко доступних зонах, коли ЛДА виконується у волоконно-оптичному варіанті і діаметр датчика, який визначається діаметром об'єктива, не може бути більшим, наприклад, 20 мм і менш.

Задачею винаходу є підвищення чутливості в два рази без зміни кута γ між зондуючими пучками, тобто без збільшення габаритів і ваги датчика ЛДА.

Поставлена задача досягається тим, що в ЛДА, що включає оптично узгоджені лазер, світлодільник і дзеркало, частотозсувний пристрій з генератором, фокусуєчий об'єктив, блок фотоприймача, що складається з діафрагми, інтерференційного світлофільтра і фотоприймача, а також вимірювач доплерівської частоти, додатково введені діафрагма з двома отворами, напівхвильова фазова пластина на шляху одного із зондуючих пучків, поляризаційний розчинник, вхід якого оптично узгоджений з виходом світлодільника, другий блок фотоприймача, селективний фільтр, смуговий фільтр, змішувач і фільтр нижніх частот, причому входи двох блоків фотоприймачів оптично узгоджені з двома виходами поляризаційного розчинника, вихід одного фотоприймача через селективний фільтр сполучений з одним входом змішувача, другий вхід якого через смуговий фільтр сполучений з виходом другого фотоприй-

(19) UA (11) 39445 (13) A

мача, вихід змішувача через фільтр нижніх частот сполучений з входом вимірювача доплерівської частоти.

На фіг.1 представлена блок-схема ЛДА, на фіг.2 - геометрія зондуючих і розсіяних пучків.

ЛДА (фіг.1) містить оптично узгоджені: - лазер 1, випромінюючий лінійно поляризований пучок 2, наприклад, в горизонтальній площині; - світлодіодний 3, що ділить пучок 2 на два пучка 4 і 5; - напівхвильову фазову пластину 6; - частотозсувний пристрій 7 з генератором сигналів 8; - дзеркало 9; - діафрагму з двома отворами 10; - фокусуючий об'єктив 11; - зону вимірювання 12, через яку рухається потік з швидкістю \vec{v} ; - розсіяні пучки 13 і 14, які проходять через отвори діафрагми 10; - просторово поєднанні розсіяні пучки 15; - поляризаційний розчинник 16, на виході якого формуються розсіяні пучки 17 і 18 з взаємно ортогональними лінійними поляризаціями; - діафрагми 19 і 21; - інтерференційний світлофільтр 20 і 22; - фотоприймачі 23 і 24; вузькосмуговий селективний фільтр 25; - смуговий фільтр 26; - змішувач 27; фільтр нижніх частот 28 і вимірювач доплерівської частоти 29.

Лазерний доплерівський анемометр працює таким чином. Лазер 1 випромінює горизонтально поляризований пучок 2, який ділиться світлодіодником 3 на два пучка 4 і 5 рівних за потужністю. Пучок 5 проходить напівхвильову фазову пластину 6 і перетворюється у вертикально поляризований пучок, який далі прямує на частотозсувний пристрій 7. Пристрій 7 являє собою фазовий модулятор, виконаний з електрооптичного двоприменовопереломлюючого кристала, орієнтація швидкої оптичної наведеної осі якого, наприклад, співпадає з площиною коливання електричного вектора електромагнітної хвилі 5. На кристал фазового модулятора 7 від генератора 8 подається пилоподібне напруження, що лінійно змінюється, тому на виході модулятора пучок 5 зміщений по частоті на величину Ω_{M1} , яка лежить в області радіодіапазону. Далі вертикально поляризований пучок відбивається від дзеркала 9 і потім паралельні відносно оптичної осі O_z пучки 4 і 5, після проходження двох отворів діафрагми 10, фокусуються об'єктивом 11 в зону вимірювання 12. Через зону вимірювання 12, яка утворена лазерними когерентними пучками 4 і 5 з взаємно ортогональними лінійними поляризаціями, пересіченими під кутом γ , рухається потік з швидкістю \vec{v} . Розсіяне назад випромінювання 13 і 14 в напрямі зондуючих пучків 5 і 4 збирається об'єктивом 11 і далі проходить через два малих отвори діафрагми 10, причому в напрямі 13 розповсюджуються горизонтально поляризований розсіяний пучок $\vec{K}_{S_{41}}$ від зондуючого пучка

\vec{K}_{04} (\vec{K}_{04} і $\vec{K}_{S_{41}}$ - хвильові вектори відповідно зондуючого пучка 4 і розсіяного від цього пучка випромінювання), а також вертикально поляризований розсіяний пучок $\vec{K}_{S_{52}}$ від зондуючого пучка

\vec{K}_{05} (фіг.2). Відповідно в напрямку 14 розповсюджуються вертикально поляризований розсіяний пучок $\vec{K}_{S_{51}}$ від зондуючого пучка \vec{K}_{05} та горизон-

тально поляризований розсіяний пучок $\vec{K}_{S_{42}}$ від зондуючого пучка \vec{K}_{04} (фіг.2). Розсіяні пучки $\vec{K}_{S_{41}}$, $\vec{K}_{S_{42}}$, $\vec{K}_{S_{51}}$, і $\vec{K}_{S_{52}}$ мають відповідні доплерівські

зсуви частот. Розсіяні пучки $\vec{K}_{S_{41}}$ і $\vec{K}_{S_{51}}$ - 13, після відбиття від дзеркала 9, проходять фазовий модулятор 7, на виході якого ці пучки мають лінійні взаємно ортогональні поляризації і придбають частотні зсуви на величину Ω_{M1} . Далі ці розсіяні пучки, після проходження напівхвильової фазової пластини 6, приймають відповідно горизонтальну і вертикальну поляризацію, і потім за допомогою світлодіодника 3 просторово поєднуються з розсіяними пучками $\vec{K}_{S_{42}}$ і $\vec{K}_{S_{52}}$, утворюючи пучок 15. Пучок 15 являє собою суперпозицію чотирьох розсіяних пучків $\vec{K}_{S_{41}}$, $\vec{K}_{S_{42}}$, $\vec{K}_{S_{51}}$, і $\vec{K}_{S_{52}}$, що мають різні поляризації і частоти: $\omega_{S_{41}}$, $\omega_{S_{42}}$, $\omega_{S_{51}}$, і $\omega_{S_{52}}$, хвильові вектори яких просторово поєднані. Пучок 15 ділиться поляризаційним розчинником 16 на два пучка 17 і 18, один з яких 17 має горизонтальну поляризацію, а інший 18 - вертикальну.

Пучок 17, що представляє суперпозицію пучків $\vec{K}_{S_{51}}$ і $\vec{K}_{S_{42}}$, після проходження діафрагми 19, інтерференційного фільтра 20 прямує на фотокатод фотоприймача 23, на виході якого внаслідок оптичного гетеродування виділяється високочастотний сигнал на частоті (див. фіг. 2)

$$\begin{aligned}\omega_1 &= 2\Omega_{M1} + (\vec{K}_{05} + \vec{K}_{04})\vec{v} + (\vec{K}_{S_{42}} - \vec{K}_{S_{51}})\vec{v} = \\ &= 2\Omega_{M1} + (\vec{K}_2 + \vec{K}_1)\vec{v} = 2\Omega_{M1} + \vec{K}_3\vec{v} = \\ &= 2\Omega_{M1} \pm \frac{8\pi}{\lambda} \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) v_x = 2\Omega_{M1} \pm \omega_{D1},\end{aligned}$$

де λ - довжина хвилі випромінювання лазера, V_x - горизонтальна проекція вектора швидкості \vec{v} (знак «+» відповідає негативному напрямку V_x , а знак «-» позитивному напрямку V_x (фіг.2)).

Пучок 18, що являє собою суперпозицію пучків $\vec{K}_{S_{41}}$ і $\vec{K}_{S_{52}}$, після проходження діафрагми 21, фільтра 22 прямує на фотокатод фотоприймача 24, на виході якого формується високочастотний сигнал на частоті

$$\begin{aligned}\omega_2 &= 2\Omega_{M1} + (\vec{K}_{05} - \vec{K}_{04})\vec{v} + (\vec{K}_{S_{41}} - \vec{K}_{S_{52}})\vec{v} = \\ &= 2\Omega_{M1} + (\vec{K}_1 - \vec{K}_4)\vec{v} = 2\Omega_{M1},\end{aligned}$$

так як $|\vec{K}_1| = |\vec{K}_4|$ і ці вектори направлені в протилежні сторони (див. фіг. 2, де вектор $\vec{K}_4 = \vec{K}_{S_{41}} - \vec{K}_{S_{52}}$ - позначений штриховою лінією).

До виходу фотоприймача 23 підключений смуговий фільтр 26, смуга пропускання якого вибирається в діапазоні частот:

$$\text{Від } \omega_H = 2\Omega_{M1} - \frac{8\pi}{\lambda} \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) V_{\text{max}} \text{ до}$$

$$\omega_B = 2\Omega_{M1} + \frac{8\pi}{\lambda} \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) V_{\text{max}}$$

де V_{max} - максимально можлива швидкість потоку. Високочастотний сигнал на частоті ω_1 проходить через смуговий фільтр 26 і прямує на перший

вхід змішувача 27, на другий вхід якого подається високочастотний сигнал з виходу фотоприймача 24 на частоті ω_2 , після проходження селективного фільтра 25, настроєного на частоту $2\Omega_{M1}$. На виході змішувача 27 за допомогою фільтра нижніх частот 28 виділяється сигнал на різничній частоті

$$\omega_3 = \omega_1 - \omega_2 = \frac{8\pi}{\lambda} \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) V_x \quad (1)$$

частота якого вимірюється блоком 29, що видає інформацію про модуль і знак проекції швидкості V_x . Частота, що вимірюється, визначається тільки проекцією швидкості V_x і на точність вимірювання не впливає нестабільність параметрів генератора 8. Як видно з виразу (1) чутливість схеми рівна

$$S_x \left[\frac{G_u}{M/c} \right] = \frac{4\pi}{\lambda} \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right),$$

тобто в два рази вище, ніж у прототипі і відомих схемах, в яких кут між зондуючими пучками 4 і 5 рівний γ .

Потрібно зазначити, що два отвори діафрагми 10 мають розмір рівний діаметру зондуючих пучків 4 та 5 і ці отвори повинні бути орієнтовані в просторі так, щоб вони пропускали лазерні пучки 4 і 5

(тобто вони орієнтовані в площині зондуючих пучків Oxz); при будь-якій іншій орієнтації отворів діафрагми 10 схема не працює, так як дослідження виконані в роботі [3] показали, що при прийомі розсіяного назад випромінювання відбувається зміна стану його поляризації по відношенню до поляризації зондуючих пучків \vec{K}_{04} і \vec{K}_{05} (фіг. 2) і тільки при кутах розсіяння 180° і в площині пучків Oxz не відбуваються зміни стану поляризації.

У ЛДА, що пропонується усунені недоліки властиві прототипу і відомому ЛДА. Він має чутливість в 2 рази більше при тому ж куті у між зондуючими пучками, а також інші додаткові переваги в порівнянні з прототипом, які розкриті в тексті опису винаходу.

Джерела інформації.

1. Durst F., Melling A., Whitelaw I.H. Principles and Practice of Laser-Doppler anemometry. - London: Academic Press, 1976, (аналог).

2. Рінкевичюс Б. С. Радіотехніка і електроніка. - 1969, т. 14, №10, с. 1903, (прототип).

3. Землянський В.М. Вимірювання швидкості потоків лазерним доплерівським методом. — К.: Вища шк., 1987, -177 с.

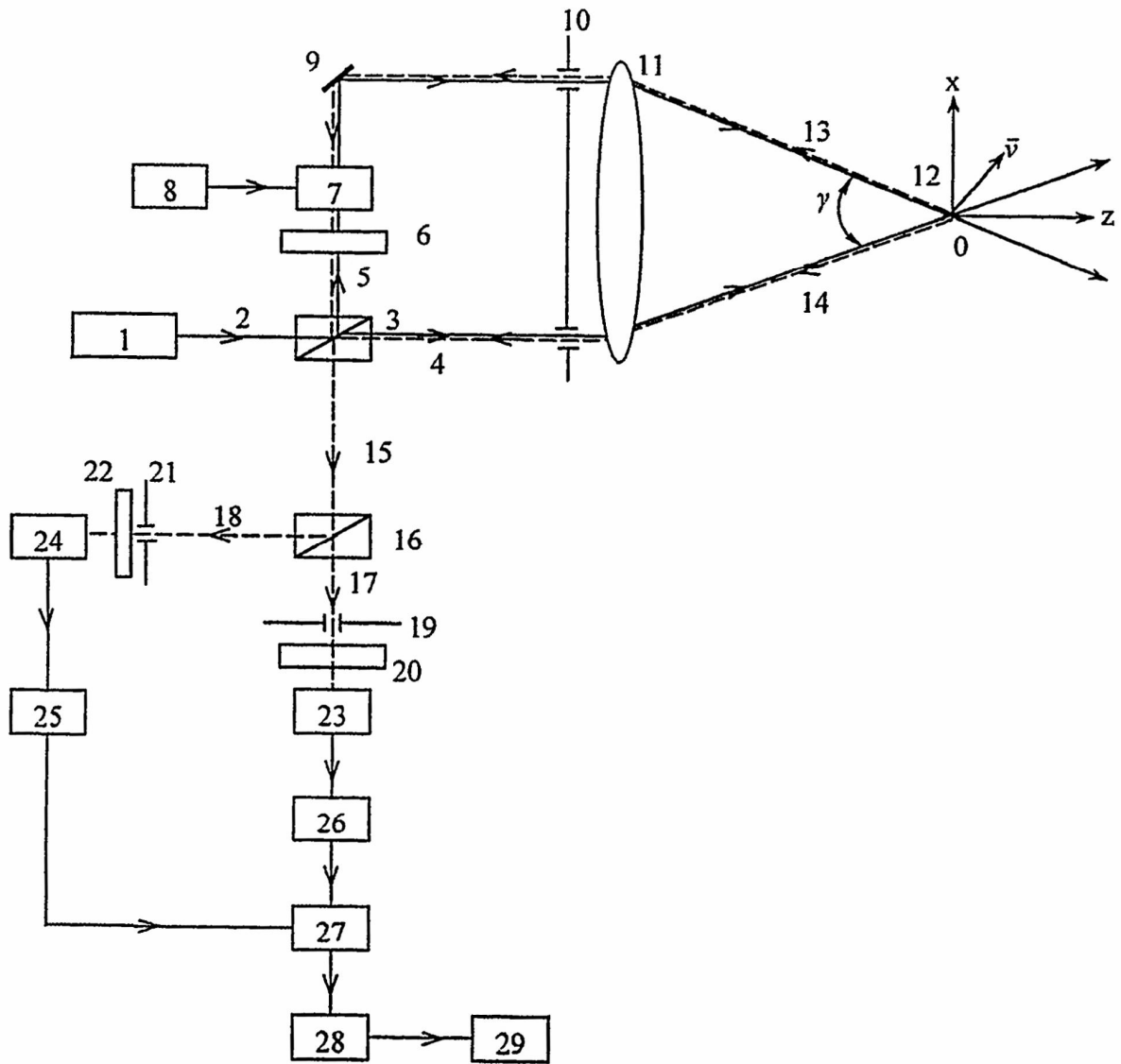
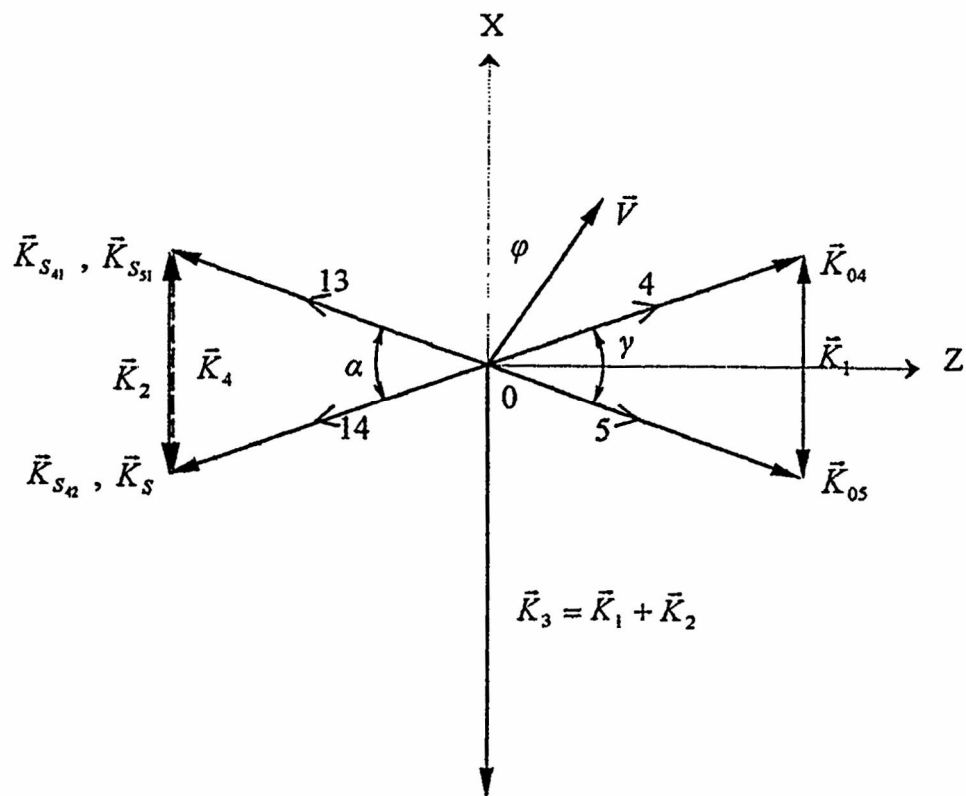


Fig. 1



Фіг. 2

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
(044) 268-25-22