



УКРАЇНА

(19) UA (11) 40902 (13) A

(51) 7 G01P3/36

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЛАЗЕРНИЙ ДВОКОМПОНЕНТНИЙ ДОПЛЕРІВСЬКИЙ АНЕМОМЕТР

(21) 2000105869

(22) 17.10.2000

(24) 15.08.2001

(46) 15.08.2001, Бюл. № 7, 2001 р.

(72) Землянський Володимир Михайлович

(73) ЗЕМЛЯНСЬКИЙ ВОЛОДИМИР МИХАЙЛОВИЧ

(57) 1. Лазерний двокомпонентний доплерівський анемометр складається з оптично узгоджених лазера, фокусуєного та збираючого об'єктивів, інтерферометра, за допомогою якого просторово з'єднуються розсіяні пучки, двох блоків фотоприймачів та двох вимірювачів доплерівської частоти, причому вихід кожного фотоприймача з'єднаний з входом відповідного вимірювача, який **відрізняється** тим, що в ньому додатково введені на виході лазера послідовно встановлені чвертьхвильова фазова пластина, призма Волстона, призма з двома дзеркальними гранями та два дзеркала, на виході яких формуються два паралельних відносно оптичної осі зонduючих пучки, діафрагма з двома круглими отворами, яка розміщена на виході збираючого об'єктива, поляризаційного розщеплювача, вхід якого оптично узгоджений з виходом інтерферометра, а два його

виходи - з входами кожного блока фотоприймачів, напівхвильова фазова пластина, розміщена в інтерферометрі на шляху одного з розсіяних пучків, причому відстань між отворами діафрагми дорівнює

$$a_{\gamma} = 2F \operatorname{tg}(\gamma / 2),$$

та два отвори розміщені симетрично відносно осі схеми в площині, перпендикулярній до площини зонduючих пучків, а лазер виконаний у вигляді двочастотного лазера, де γ - кут між зонduючими пучками в фокусі фокусуєного об'єктива, F - фокусна відстань збираючого об'єктива.

2. Лазерний двокомпонентний доплерівський анемометр за п.1, який **відрізняється** тим, що інтерферометр виконаний у вигляді симетричної схеми, в якій забезпечується нульова різниця оптичного ходу між розсіяними пучками, що змішуються на фотоприймачах.

3. Лазерний двокомпонентний доплерівський анемометр за п.1 і п.2, який **відрізняється** тим, що лазер виконаний у вигляді двочастотного зєсманівського лазера.

Вінахід належить до вимірювальної техніки і може бути використаний для вимірювання швидкості двовірних потоків рідини та газу.

Відомий лазерний двокомпонентний доплерівський анемометр (ЛДДА) [1], що складається з лазера, дзеркала, фокусуєного та збираючого об'єктивів, поляризаційного розщеплювача, двох блоків фотоприймачів та двох вимірювачів доплерівської частоти. Недоліком цього ЛДДА є те, що в ньому приймання розсіяного вперед випромінювання відбувається у відносно великій кутовій апертурі збираючого об'єктива. Це знижує ефективність поляризаційної селекції оптичних сигналів і приводить до утворення на виході двох фотоприймачів перехресних високочастотних завад, частотні спектри яких перекриваються зі спектрами корисних сигналів. В цьому випадку дуже складно виділити корисний сигнал, а через перешкоди виміряти його частоту з високою точністю.

Відомий ЛДДА інверсно-диференційного типу [2], який включає в себе лазер, фокусуєний і збираючий об'єктиви, інтерферометр, що забезпечує просторове поєднання розсіяних пучків, два блоки фотоприймачів та два вимірювача доплерівської частоти. Але цьому ЛДДА властиві наступні недоліки. В його схемі використовується досить складна при юстуванні конструкція інтерферометра, за допомогою якого необхідно забезпечити в двох взаємоортогональних площинах просторове поєднання двох пар розсіяних пучків, які збираються об'єктивом в межах чотирьох отворів діафрагми та направляються потім на два фотоприймача. За допомогою цієї схеми неможливо вимірювати напрямок руху двох ортогональних проєкцій швидкості V_x і V_y . Для цього необхідно в схемі інтерферометра розмістити два пристрої зсуву частот, які значно послабили б за потужністю розсіяні пучки і визвали б зниження відношення сигнал/шум на виході фотоприймачів. Крім того,

чутливість схеми ЛДДА за каналами вимірювання проєкцій швидкості V_x і V_y визначається кутами α_1 і α_2 між двома відповідними парами розсіяних пучків і тому збільшення чутливості можливо тільки за рахунок збільшення цих кутів α_1 і α_2 , але це викликає зниження відношення сигнал/шум і збільшення габаритів та вартості конструкції ЛДДА.

В основу винаходу покладена задача вдосконалення ЛДДА, в якому нове виконання конструкції блока формування зондуючих пучків і оптичного блока приймання розсіяних пучків дозволило створити в зоні вимірювання дві бжучі віртуальні інтерференційні картини зі взаємоортогональним розміщенням інтерференційних смуг в площині, перпендикулярній оптичній осі схеми і за рахунок цього забезпечити високу чутливість і стійкість до завад вимірювання не тільки модуля, але й знака двох ортогональних проєкцій швидкості.

Поставлена задача вирішується тим, що в ЛДДА, який складається з оптично узгодженого лазера, фокуруючого та збираючого об'єктивів, інтерферометра, за допомогою якого просторово з'єднуються розсіяні пучки, двох блоків фотоприймачів та двох вимірювачів доплерівської частоти, причому вихід кожного фотоприймача з'єднаний з входом відповідного вимірювача, згідно винаходу додатково внесені на вихіді лазера послідовно встановлені чвертьхвильова фазова пластина, призма Воластона, призма з двома дзеркальними гранями та два дзеркала, на виході яких формуються два паралельних відносно оптичної осі зондуючих пучки, діафрагма з двома круглими отворами, яка розміщена на виході збираючого об'єктива, поляризаційного розщеплювача, вхід якого оптично узгоджений з виходом інтерферометра, а два його виходи – з входами кожного блока фотоприймачів, напівхвильова фазова пластина, розміщена в інтерферометрі на шляху одного з розсіяних пучків, причому відстань між отворами діафрагми дорівнює

$$a_\gamma = 2F \operatorname{tg}(\gamma/2),$$

та два отвори, що розміщені симетрично відносно осі схеми в площині, перпендикулярній площині зондуючих пучків, а лазер виконаний у вигляді двочастотного лазера (де γ – кут між зондуючими пучками в фокусі об'єктива, F – фокусна відстань збираючого об'єктива). Крім того, в ЛДДА інтерферометр виконаний у вигляді симетричної схеми, в якій забезпечується нульова різниця оптичного ходу між розсіяними пучками та лазер виконаний у вигляді двочастотного зєманівського лазера.

На фіг. 1 зображена блок-схема ЛДДА; на фіг. 2 – геометрія зондуючих та розсіяних пучків; на фіг. 3 – система координат, в якій створюються дві віртуальні інтерференційні картини.

Лазерний двокомпонентний доплерівський анемометр (фіг. 1) складається з зєманівського двочастотного лазера 1, який випромінює пучок 2, що становить собою суперпозицію двох пучків зі взаємоортогональними циркулярними поляризаціями і різними частотами $\omega_1 = \omega_0 + \Omega_M$ та $\omega_2 = \omega_0 + \Omega_M$, де ω_0 – частота випромінювання лазера при напруженості зовнішнього магнітного поля рівній нулю; Ω_M – частотний зсув, який залежить від напруженості зовнішнього магнітного поля; чвертьхвильової фазової пластини 3; поляризаційної призми 4 (наприклад,

призма Воластона), на виході якої формуються два пучки 5 і 6 однакової інтенсивності; призми з двома дзеркальними гранями 7, в якій кут при вершині 90° , а бісектриса цього кута співпадає з оптичною вісю схеми OZ; дзеркал 8 і 9, на виході яких формуються два пучка, паралельні та симетричні відносно осі OZ; фокуруючого об'єктива 10, оптична вісь якого співпадає з вісю OZ, зони вимірювання 11, через яку рухається двовірний в площині OXY потік зі швидкістю \bar{V} ; розсіяних пучків 12 і 13, які розповсюджуються в площині OYZ під кутом $\alpha/2$ до осі схеми OZ; збираючого об'єктива 14, оптична вісь якого співпадає з вісю OZ і він розміщений від зони вимірювання на фокусній відстані F ; діафрагми з двома отворами 15, які розміщені в площині OYZ симетрично осі OZ на відстані $a_{\gamma/2} = F \operatorname{tg}(\alpha/2)$; інтерферометра 16, що складається з трьох дзеркал 18; змішувача 19; за допомогою якого створюється просторове поєднання розсіяних пучків 12 і 13; поляризаційного розщеплювача 20, на виході якого формуються пучки 21 і 22; блоків фотоприймачів 23 і 24, які, наприклад, складаються з діафрагми, інтерференційного світлофільтра і фотоелектронного підсилювача, вимірювачів доплерівських частот 25 і 26.

ЛДДА (фіг. 1) працює таким чином. Двочастотний лазер 1 випромінює пучок 2, який за допомогою чвертьхвильової пластини 3 перетворюється в пучок, що становить собою суперпозицію двох пучків зі взаємоортогональними лінійними поляризаціями і різними частотами ω_1 і ω_2 . Далі пучок 2 ділиться призмою Воластона 4 на два пучки 5 і 6, які розповсюджуються в площині OXZ симетрично відносно осі схеми OZ. Причому азимут швидкої осі пластини 3 і азимут пропускання осі призми 4 вибираються такими, щоб пучки 5 і 6 розповсюджувались в площині OXZ та мали б рівні інтенсивності і відповідно вертикальну і горизонтальну поляризацію та частоти ω_1 і ω_2 . Далі пучки 5 і 6 після відбиття від дзеркальних граней призми 7 та дзеркалі 8 і 9 перетворюються в паралельні пучки, які фокусуються об'єктивом 10 в зону вимірювання 11. Розсіяні вперед пучки 12 і 13 збираються об'єктивом 14 в межах двох отворів діафрагми 15 та перетворюються в паралельні пучки з відстанню між ними:

$$a_\gamma = 2F \operatorname{tg}(\alpha/2),$$

де F – фокусна відстань об'єктива 14, на якій він розміщений від зони вимірювання 11, α – кут між розсіяними пучками 12 і 13 в площині OYZ, який вибирають рівним $\alpha = \gamma$, де γ – кут між зондуючими пучками 5 і 6 в площині OXZ.

В напрямку приймання розсіяного випромінювання 12 розповсюджуються два просторово поєднані розсіяні пучки (фіг. 2). \bar{K}_{S51} і \bar{K}_{S61} – відповідно від зондуючих пучків 5 і 6 \bar{K}_{05} і \bar{K}_{06} (де \bar{K}_{05} і \bar{K}_{06} – хвильові вектори зондуючих пучків, \bar{K}_{S51} і \bar{K}_{S61} – хвильові вектори розсіяних пучків), які мають різні доплерівські зсуви частот. При прийманні розсіяного вперед випромінювання під малими кутами розсіювання пучки \bar{K}_{S51} і \bar{K}_{S61} (фіг. 2) мають взаємоортогональні поляризації [3]. В напрямку приймання розсіяного випромінювання 13 розповсюджуються пучки \bar{K}_{S52} і \bar{K}_{S62} (фіг. 2)

відповідно від зонduючих пучків \bar{K}_{05} і \bar{K}_{06} , які мають взаємоортогональні поляризації і відповідні доплерівські зсуви частот. Розсіяні пучки \bar{K}_{S51} і \bar{K}_{S61} після проходження напівхвильової фазової пластини 17 змінюють азимут поляризації на 90° і далі після відбиття від дзеркала 18 просторово з'єднуються на виході змішувача 19 з пучками \bar{K}_{S52} і \bar{K}_{S62} . Інтерферометр 16, який забезпечує просторове з'єднання пари пучків \bar{K}_{S51} і \bar{K}_{S61} з іншою парою пучків \bar{K}_{S52} і \bar{K}_{S62} , виконується симетричним, тобто таким, в якому конструкційно забезпечується нульова різниця оптичного ходу між двома пучками 12 і 13 на виході змішувача 19. На виході змішувача 19 розсіяні пучки \bar{K}_{S61} і \bar{K}_{S52} мають вертикальну поляризацію, а пучки \bar{K}_{S62} і \bar{K}_{S51} – горизонтальну поляризацію. Ці пучки після проходження поляризаційного розщеплювача 20 діляться на два пучки 21 і 22. Причому азимут осі пропускання розщеплювача необхідно вибрати таким, щоб пучок 21 мав вертикальну поляризацію, а пучок 22 – горизонтальну поляризацію. Тоді в результаті оптичного змішування розсіяних пучків \bar{K}_{S61} і \bar{K}_{S52} на фотокатоді фотоприймача 23, на його виході формується високочастотний сигнал на частоті:

$$\begin{aligned}\omega_1 &= 2\Omega_M + (\bar{K}_{06} - \bar{K}_{05}) \bar{V} + (\bar{K}_{S52} - \bar{K}_{S61}) \bar{V} = \\ &= 2\Omega_M + (\bar{K}_1 + \bar{K}_2) V = 2\Omega_M + \bar{K}_4 \bar{V} = \\ &= 2\Omega_M + \left(\frac{4\sqrt{2}\pi}{\lambda} \right) \sin(\alpha/2) V_x,\end{aligned}$$

де γ – довжина хвилі випромінювання лазера, $V_x = \sin(\varphi)$ – проекція вектора швидкості на вісь ОХ (фіг. 3). Оскільки схема зондування і приймання симетрична $\alpha = \gamma$, то модулі векторів рівні $|\bar{K}_1| = |\bar{K}_2|$, а сумарний вектор $\bar{K}_4 = (\bar{K}_1 + \bar{K}_2)$ утворює кут -45° з віссю ОХ (фіг. 3).

В результаті оптичного змішування розсіяних пучків \bar{K}_{S51} і \bar{K}_{S62} на виході фотоприймача 24 формується високочастотний сигнал на частоті:

$$\begin{aligned}\omega_2 &= 2\Omega_M + (\bar{K}_{06} - \bar{K}_{05}) V + (\bar{K}_{S51} - \bar{K}_{S62}) \bar{V} = \\ &= 2\Omega_M + (\bar{K}_1 + \bar{K}_3) V = 2\Omega_M + \bar{K}_5 \bar{V} = \\ &= 2\Omega_M + \left(\frac{4\sqrt{2}\pi}{\lambda} \right) \sin(\alpha/2) V_y,\end{aligned}$$

де $V_y = V \cos(\varphi)$ – проекція вектора швидкості на вісь ОУ, яка утворює кут $+45^\circ$ з віссю ОХ.

Частота сигналу ω_1 вимірюється вимірювачем 25, вхід якого з'єднаний з виходом фотоприймача 23, а частота сигналу ω_2 відповідно вимірюється другим вимірювачем 26, вхід якого з'єднано з виходом фотоприймача 24. Вимірювачі частот 25 і 26 видають відповідно інформацію про модуль і знак двох взаємно ортогональних проекцій швидкості в системі координат ОХУЗ (фіг. 3). Чутливість каналів вимірювання компонент швидкості V_x і V_y відповідно дорівнюють:

$$\begin{aligned}S_x[\Gamma \text{ц}/(\text{м/с})] &= \left(\frac{2\sqrt{2}}{\lambda} \right) \sin(\alpha/2), \\ S_y[\Gamma \text{ц}/(\text{м/с})] &= \left(\frac{2\sqrt{2}}{\lambda} \right) \sin(\alpha/2),\end{aligned}\quad (1)$$

тобто у $\sqrt{2}$ більша за чутливість каналів вимірювання прототипу з кутом між розсіяними пучками α .

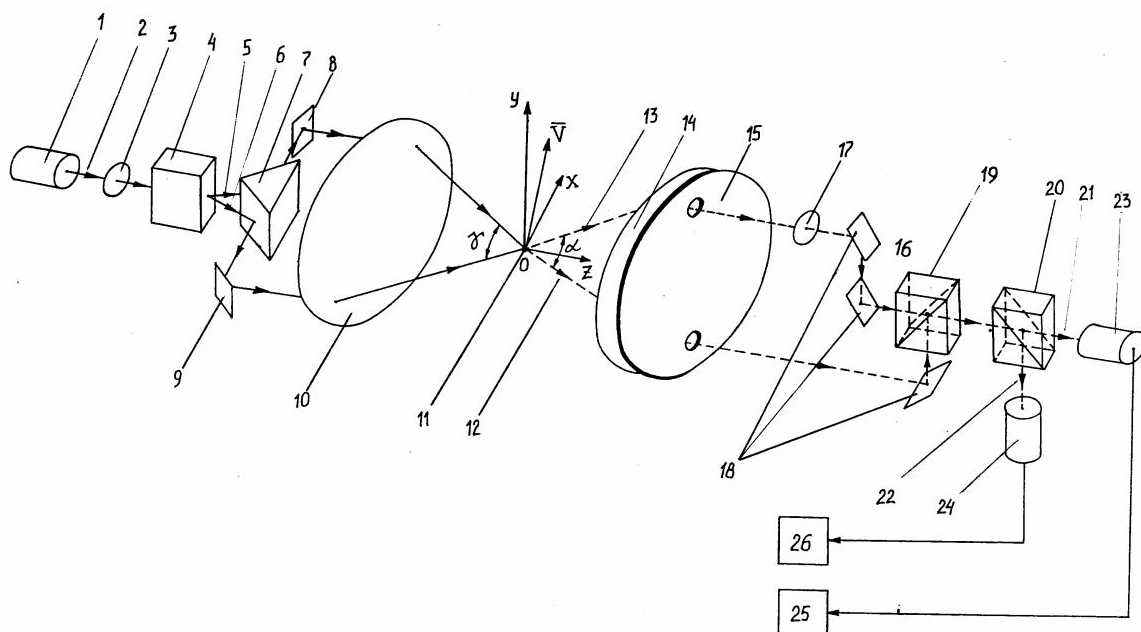
Схема ЛДДА (фіг. 1) побудована симетрично і для неї різниця оптичного ходу між зонduючими пучками 5 і 6 в зоні вимірювання дорівнює нулю. Тому можна в ній використовувати як джерело випромінювання потужний лазер 1 з малою довжиною когерентності його випромінювання. При перетині в зоні випромінювання двох когерентних пучків 5 і 6 в ній не формується інтерференційна картина і роботу схеми можна пояснити на основі того, що в зоні вимірювання створені дві біжучі інтерференційні картини з взаємоортогональним розміщенням смуг і рівними періодами:

$$\delta'_x = \delta'_y = \left(\frac{\lambda}{2\sqrt{2}} \right) \sin(\alpha/2).$$

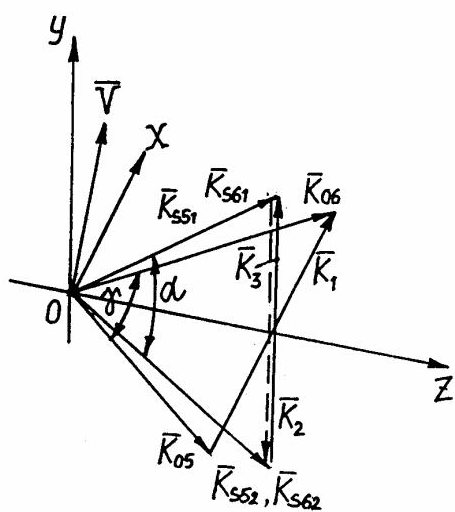
ЛДДА на відміну від прототипу дозволяє з більш високою чутливістю та стійкістю проти перешкод вимірювати як модуль, так і знак двох ортогональних проекцій швидкості. Він відрізняється простою конструкцією та простотою в експлуатації і його легко юстувати. В ньому відсутні вартісні пристрої зсуву частот, які крім цього вносять втрати потужності в лазерні пучки. Інші технічні переваги ЛДДА (фіг. 1) розкриті в тексті опису його роботи.

Джерела інформації

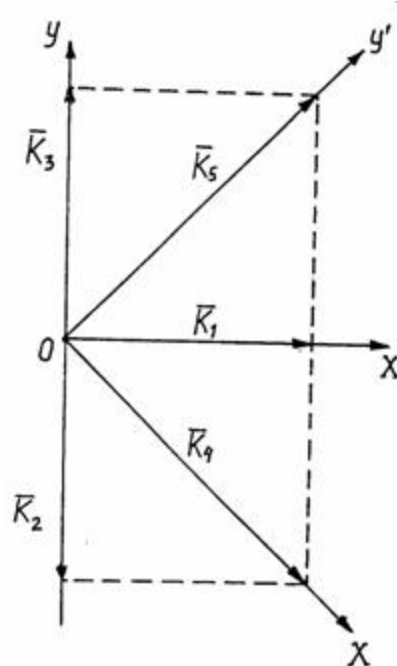
1. LDA 08. Laser Dopler Anemometry. Catalog. Dantec Elektronik, 1983, p. 36 (аналог).
2. 55L01. Catalog. DISA, 1976, p. 11 (прототип).
3. Землянський В.М. Вимірювання швидкості потоків лазерним доплерівським методом. – К.: Вища шк., 1987. – 177 с.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Тираж 50 экз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»
Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
(03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03

40902