



УКРАЇНА

(19) UA (11) 79976 (13) C2
(51) МПК (2006)
G01C 3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ НАДЛИШКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ ДАЛЬНОСТІ

1

2

(21) а200500978

(22) 03.02.2005

(24) 10.08.2007

(46) 10.08.2007, Бюл. № 12, 2007 р.

(72) Кондратов Владислав Тимофійович, Руденький Олександр Миколайович

(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М.ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ

(56) UA, патент №43209, G01C3/00, публ. 15.01.2001.

UA, патент №21305, G01C3/08, публ. 30.04.1998.

UA, патент №31334, G01C3/00, публ. 15.12.2000.

SU, а.с. №178507, G01C, публ. 22.01.1966.

SU, а.с. №1811263, G01C3/08, публ. 27.06.1996.

(57) Спосіб надлишкових вимірювань дальності, заснований на формуванні короткого імпульсного оптичного сигналу заданої тривалості, подачі його на об'єкт дослідження, фотоелектричному перетворенні сформованого та відбитого від об'єкта імпульсного оптичного сигналу, багаторазовому рециркуляційному вимірюванню дальності протягом заданого інтервалу часу Δt_0 з врахуванням часу проходження імпульсного оптичного сигналу заданої тривалості (до і від об'єкта дослідження) та його нормованої на час $\tau_{лз}$ і ненормованої затримки з наступним визначенням числа циркуляцій N_x , який відрізняється тим, що, до вимірювання дальності D_x до досліджуваного об'єкта, спочатку

формують (вибирають) наперед задану і нормовану за розміром дальність D_1 , визначають число циркуляцій N_1 при вимірюванні нормованої за розміром дальності D_1 протягом інтервалу часу Δt_0 , отриманий результат запам'ятовують, далі формують (вибирають) другу наперед задану і нормовану за розміром дальність D_2 , значення якої відрізняється від значення дальності D_1 на нормовану за розміром величину ΔD , тобто $\{D_2\} = \{D_1\} + \{\Delta D\}$, де $\{\Delta D\}$ - значення приросту дальності D_1 , визначають число циркуляцій N_2 при вимірюванні дальності D_2 також протягом інтервалу часу Δt_0 , отриманий результат запам'ятовують, формують невідому за розміром дальність D_3 , яка відрізняється від значення дальності D_x на нормовану за розміром величину ΔD , тобто $\{D_3\} = \{D_x\} + \{\Delta D\}$, визначають число циркуляцій N_3 при вимірюванні невідомої за розміром дальності D_3 , отриманий результат запам'ятовують, після визначення числа циркуляцій N_x при вимірюванні невідомої за розміром дальності D_x до досліджуваного об'єкта та запам'ятовування числа циркуляцій N_x про дійсне значення дальності судять за рівнянням надлишкових вимірювань виду

$$D_x = \Delta D \cdot \frac{(N_2 - N_3) \cdot (D_1 + \Delta D)}{(N_1 - N_x) \cdot D_1 - (N_2 - N_3) \cdot (D_1 + \Delta D)}.$$

Винахід належить до галузі вимірювальної техніки і може бути застосований для високоточного вимірювання дальності.

Відомий спосіб вимірювання дальності [див. А.с. №178507, кл. G01C3/08 публ. 22.01.66р. А.І. Демушкин, В.Д. Большаков и Е.Б. Ключин]. Електронно - оптичний спосіб определения расстояний, оснований на визначенні відстаней (дальностей) шляхом вимірювання частоти модуляції джерела світла, що створює світловий потік, що проходить вимірювану відстань (дальність), причому з метою використання потужних джерел світла типу „лазер“, які піддаються безпосередній модуляції, модулюючи напругу отримують з

фотоелектронного перетворювача, що сприймає світловий потік, який прийшов з дистанції.

Відомий спосіб має недостатню точність вимірювання, обумовлену впливом на результат вимірювання показника заломлення середовища впродовж шляху проходження оптичного випромінювання до досліджуваного об'єкта. Крім того, відомий спосіб не враховує затримку імпульсів в електронному тракті, що також впливає на результат визначення дальності до досліджуваного об'єкта.

Відомий спосіб вимірювання дальності [див. А.с. №1811263, кл. G01C3/08 публ. 27.09.96р. В.А. Данильченко, В.М. Камнев, А.В. Семененко. Импу-

(13) C2

(11) 79976

(19) UA

льсний лазерний дальномер], оснований на формуванні короткого імпульсного оптичного сигналу заданої тривалості, подачі його на об'єкт дослідження, фотоелектричному перетворенні сформованого та відбитого від об'єкта імпульсного оптичного сигналу, багаторазовому рециркуляційному вимірюванні дальності на протязі заданого інтервалу часу Δt_0 з врахуванням часу проходження імпульсного оптичного сигналу заданої тривалості (до і від об'єкта дослідження) та його нормованої на час $\tau_{лз}$ і ненормованої затримки з наступним визначенням числа циркуляцій N_x .

Відомий спосіб має недостатню точність вимірювання, яка обумовлена нестабільністю параметрів першого та другого фотоприймачів. Крім того, відомий спосіб вимірювання дальності не враховує вплив коефіцієнта поглинання світлового потоку середовищем на результат визначення дальності. Як зазначають самі автори, максимальна дальність дії забезпечується по багатогабаритним об'єктам типу міських будівель при нормальних метеорологічних умовах видимості (≈ 20 км).

Найбільш близьким до запропонованого є спосіб вимірювання дальності [див. деклараційний патент на винахід №43209 А, кл. G01C3/00 (Україна) публ. 15.01.2001р. Й.Й. Білинський, О.В. Федун. Світлодалекомір], оснований на формуванні короткого імпульсного оптичного сигналу заданої тривалості, подачі його на об'єкт дослідження, фотоелектричному перетворенні сформованого та відбитого від об'єкта імпульсного оптичного сигналу, багаторазовому рециркуляційному вимірюванні дальності на протязі заданого інтервалу часу Δt_0 з врахуванням часу проходження імпульсного оптичного сигналу заданої тривалості (до і від об'єкта дослідження) та його нормованої на час $\tau_{лз}$ і ненормованої затримки з наступним визначенням числа циркуляцій N_x .

Відомий спосіб має недостатню точність вимірювання, обумовлену нестабільністю часу проходження імпульсного оптичного сигналу через елементи оптичного тракту та по електронному каналу, в тому числі по лінії затримки, тобто за рахунок нормованої та ненормованої (випадкової) затримки імпульсу. Крім того, відомий спосіб не забезпечує виключення похибки вимірювання дальності, обумовленої невідповідністю геометричної довжини шляху та оптичної довжини хвилі, тобто не враховує середньоінтегральне значення показника заломлення повітря вздовж траєкторії розповсюдження електромагнітних хвиль.

В основу винаходу покладена задача створення такого способу надлишкових вимірювань дальності, у якому, шляхом введення заданої кількості, послідовності і умов виконання операцій та обробки результатів проміжних вимірювань по заздалегідь заданому рівнянню надлишкових вимірювань, забезпечується підвищення точності визначення дальності при нестабільній функції перетворення оптичного сигналу в електричний сигнал.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що спосіб надлишкових вимірювань дальності, оснований на формуванні короткого імпульсного оптичного сигналу заданої тривалості, подачі його на об'єкт дослідження, фотоелектричному пере-

творенні сформованого та відбитого від об'єкта імпульсного оптичного сигналу, багаторазовому рециркуляційному вимірюванні дальності на протязі заданого інтервалу часу Δt_0 з врахуванням часу проходження імпульсного оптичного сигналу заданої тривалості (до і від об'єкта дослідження) та його нормованої на час $\tau_{лз}$ і ненормованої затримки з наступним визначенням числа циркуляцій N_x , від прототипу відрізняється тим, що, до вимірювання дальності D_x до досліджуваного об'єкта, спочатку формують (вибирають) наперед задану і нормовану за розміром дальність D_1 , визначають число циркуляцій N_1 при вимірюванні нормованої за розміром дальності D_1 протягом інтервалу часу Δt_0 , отриманий результат запам'ятовують, далі формують (вибирають) другу наперед задану і нормовану за розміром дальність D_2 , значення якої відрізняється від значення дальності D_1 на нормовану за розміром величину ΔD , тобто $\{D_2\}=\{D_1\}+\{\Delta D\}$, де $\{\Delta D\}$ - значення приросту дальності D_1 , визначають число циркуляцій N_2 при вимірюванні дальності D_2 також протягом інтервалу часу Δt_0 , отриманий результат запам'ятовують, формують невідому за розміром дальність D_3 , яка відрізняється від значення дальності D_x на нормовану за розміром величину ΔD , тобто $\{D_3\}=\{D_x\}+\{\Delta D\}$, визначають число циркуляцій N_3 при вимірюванні невідомої за розміром дальності D_3 , отриманий результат запам'ятовують, після визначення числа циркуляцій N_x при вимірюванні невідомої за розміром дальності D_x до досліджуваного об'єкта, та запам'ятовування числа циркуляцій N_x про дійсне значення дальності судять за рівнянням надлишкових вимірювань

$$D_x = \Delta D \cdot \frac{(N_2 - N_3) \cdot (D_1 + \Delta D)}{(N_1 - N_x) \cdot D_1 - (N_2 - N_3) \cdot (D_1 + \Delta D)}.$$

Суть запропонованого способу надлишкових вимірювань дальності пояснюється структурною схемою пристрою наведеною на рисунку, де 1 - джерело оптичного випромінювання; 2 - напівпрозора пластина; 3 - дзеркало; 4 та 5 - перша та друга діафрагми з ручним управлінням; 6 - об'єкт дослідження; 7 - збиральна лінза; 8, 9, і 10 - перша, друга і третя оптичні лінії затримки; 11 - світловод; 12 - складена призма; 13 - фокусуюча лінза; 14 - іммерсійний фотоприймач; 15 - компаратор; 16 - лічильник імпульсів; 17 - електрична лінія затримки.

Припустимо, що перетворення імпульсного оптичного сигналу в електричний здійснюється за допомогою фотоприймача, робоча точка якого розташована на лінійній ділянці характеристики. Будемо вважати, що ця ділянка описується лінійною функцією перетворення виду

$$U_n = S'_n \Phi_x + \Delta U'_n \quad (1)$$

де S'_n - параметр (чутливість) реальної функції перетворення ($\{S'_n\}=\{S_n\} \cdot (1+\gamma_n)$; γ_n - відносне відхилення чутливості фотоприймача від номінального значення ($\gamma_n=\{\Delta S_n\}/\{S_n\}$); $\Delta U'_n$ - реальне за розміром зміщення функції перетворення ($\{\Delta U'_n\}=\{\Delta U_n\}+\{\Delta a\}$); ΔU_n - номінальне за розміром зміщення функції перетворення; Δa - адитивна складова похибки перетворення.

В цілому будемо вважати, що перетворення імпульсного оптичного сигналу та підрахунок перетворених імпульсів здійснюється по лінійному закону для кожної з вимірюваних дальностей, тобто число імпульсів, що підраховуються, пропорційне дальності.

Запропонований спосіб надлишкових вимірювань дальності, оснований на формуванні короткого імпульсного оптичного сигналу заданої тривалості, подачі його на об'єкт дослідження, фотоелектричному перетворенні сформованого та відбитого від об'єкта імпульсного оптичного сигналу, багаторазовому рециркуляційному вимірюванню дальності на протязі заданого інтервалу часу Δt_0 з врахуванням часу проходження імпульсного оптичного сигналу заданої тривалості (до і від об'єкту дослідження) та його нормованої на час $\tau_{лз}$ і ненормованої затримки з наступним визначенням числа циркуляцій N_x .

Згідно із запропонованим способом, до вимірювання дальності D_x до досліджуваного об'єкта, спочатку формують (вибирають) наперед задану і нормовану за розміром дальність D_1 .

Визначають число циркуляцій N_1 при вимірюванні нормованої за розміром дальності D_x протягом інтервалу часу Δt_0 . В результаті одержують:

$$N_1 = \frac{\{S'_л\}}{\{D_1\}} + \Delta N \quad (2)$$

де $S'_л$ - реальна функція перетворення, ΔN - похибка визначення дальності.

Отриманий результат (2) запам'ятовують.

Далі формують другу наперед задану і нормовану за розміром дальність D_2 . Причому значення дальності D_2 вибирають таким, щоб воно відрізнялося від значення дальності D_1 на нормовану за розміром величину ΔD , тобто $\{D_2\} = \{D_1\} + \{\Delta D\}$, де $\{\Delta D\}$ - приріст дальності D_1 .

Визначають число циркуляцій N_2 при вимірюванні нормованої за розміром дальності D_2 також протягом інтервалу часу Δt_0 і отримують

$$D_x = \frac{S'_л \Delta D (D_1 + \Delta D) (D_x - D_1)}{(D_1 + \Delta D) (D_x + \Delta D) \left[\left(\frac{S'_л (D_x - D_1)}{D_1 \cdot D_x} \right) D_1 - \frac{S'_л (D_x - D_1) (D_1 + \Delta D)}{(D_1 + \Delta D) (D_x + \Delta D)} \right]} = \frac{\Delta D (D_x - D_1)}{(D_1 + \Delta D) (D_x - D_1) \left(\frac{1}{D_x} - \frac{1}{D_x + \Delta D} \right)} = D_x$$

Аналіз рівняння надлишкових вимірювань (6) показав, що обробка результатів проміжних вимірювань зазначеним чином забезпечує виключення впливу абсолютних значень параметрів лінійної функції перетворення оптичного випромінювання в напругу, а також їх змін в часі та від температури, відносно номінальних значень.

Таким чином, запропонований спосіб надлишкових вимірювань дальності забезпечує виключення адитивної і мультиплікативної складових систематичної похибок та виключення впливу середньоінтегрального значення показника заломлення повітря і часових затримок на результат вимірювання.

Позитивний ефект отриманий завдяки введенню нової сукупності та послідовності операцій вимірювання різних за розмірами дальностей і вико-

$$N_2 = \frac{\{S'_л\}}{\{D_1\} + \{\Delta D\}} + \Delta N \quad (3)$$

Отриманий результат (3) також запам'ятовують.

Формують невідому за розміром дальність D_3 таким чином, щоб значення дальності D_3 відрізнялося від значення дальності D_x на нормовану за розміром величину ΔD , тобто $\{D_3\} = \{D_x\} + \{\Delta D\}$, де $\{\Delta D\}$ - значення приросту дальності D_x .

Визначають число циркуляцій N_3 при вимірюванні невідомої за розміром дальності D_3 .

В результаті одержують число циркуляцій

$$N_3 = \frac{\{S'_л\}}{\{D_x\} + \{\Delta D\}} + \Delta N \quad (4)$$

Отриманий результат (4) запам'ятовують.

Визначають число циркуляцій N_x при вимірюванні невідомої за розміром дальності D_x до досліджуваного об'єкта.

$$N_x = \frac{\{S'_л\}}{\{D_x\}} + \Delta N \quad (5)$$

Отримане значення (5) запам'ятовують.

Про дійсне значення судять за рівнянням надлишкових вимірювань виду

$$D_x = \Delta D \cdot \frac{(N_2 - N_3) \cdot (D_1 + \Delta D)}{(N_1 - N_x) \cdot D_1 - (N_2 - N_3) \cdot (D_1 + \Delta D)} \quad (6)$$

В результаті виконання описаних операцій та обробці отриманих даних досягається виключення впливу на результат визначення дійсного значення дальності середньоінтегрального значення показника заломлення повітря впродовж траєкторії розповсюдження електромагнітних хвиль, адитивної і мультиплікативної складових систематичної похибки, обумовлених нестабільністю функції перетворення оптичних сигналів в електричні та їх підрахунок.

Покажемо, що дійсно за допомогою запропонованого рівняння надлишкових вимірювань забезпечується одержання позитивного ефекту. Для цього в рівняння (6) підставимо аналітичні вирази (2...5) та зробимо спрощення:

ристання нового рівняння надлишкових вимірювань.

Покажемо сутність запропонованого способу надлишкових вимірювань дальності на прикладі роботи пристрою, структурна схема якого наведена на рисунку. Причому, джерело оптичного випромінювання 1 оптично зв'язане через напівпрозору пластину 2, першу діафрагму 4 з об'єктом дослідження 6 і з дзеркалом 3, яке оптично зв'язане через другу діафрагму 5, складену призму 12 і фокусуючу лінзу 13 з імерсійним фотоприймачем 14, вхід якого оптично з'єднаний з об'єктом дослідження 6 через фокусуючу лінзу 13, складену призму 12, одну з ліній затримки 8, 9 і 10, відповідно, збиральну лінзу 7, напівпрозору пластину 2 і першу діафрагму 4. Вихід імерсійного фотоприймача 14 з'єднаний зі входом компаратора 15. Вихід ком-

паратора 15 підключений до з'єднаних між собою входів лічильника імпульсів 16 та з входом електричної лінії затримки 17. Вихід електричної лінії затримки 17 з'єднаний зі входом управління джерела оптичного випромінювання 1.

Крім того, оптичні лінії затримки 8, 9 і 10 та світловод 11 встановлюються між збиральною лінзою 7 та складеною призмою 12 вручну.

Робота вимірювача дальності, структурна схема якого наведена на рисунку, складається з чотирьох тактів вимірювання різних за значенням дальностей і одного такту обчислення отриманих результатів.

В першому такті перша і друга діафрагми 4 і 5 встановлюються в закриті положення, при якому переривається проходження потоку випромінювання від дзеркала 3 до складеної призми 12 та від об'єкта дослідження 6 до збиральної лінзи 7.

Між збиральною лінзою 7 та складеною призмою 12 встановлюють оптичну лінію затримки 8 з часом затримки, який відповідає проходженню імпульсним оптичним сигналом дальності D_1 .

Після включення джерела оптичного випромінювання 1 за допомогою кнопки „Диск“ (на рисунку не показано) вихідний потік віддзеркалюється від напівпрозорої пластини 2, поступає на закриту першу діафрагму 4, відбивається від неї і, через оптично з'єднані напівпрозору пластину 2, збиральну лінзу 7, оптичну лінію затримки 8, складену призму 12 і фокусуючу лінзу 13 поступає на імерсійний фотоприймач 14. Вихідний сигнал імерсійного фотоприймача 14 поступає на компаратор 15. Переднім фронтом вихідного імпульсу компаратора 15 змінюється стан лічильника імпульсів 16 на одиницю і поступає на електричну лінію затримки 17, де затримується на час $\tau_{лз}$. Вихідний імпульс електричної лінії затримки 17 самостійно запускає джерело оптичного випромінювання 1. Аналогічним чином у лічильник імпульсів 16 протягом часу вимірювання Δt_0 поступає N_1 (2) імпульсів. Отриманий результат запам'ятовується.

У другому такті замість оптичної лінії затримки 8 встановлюється оптична лінія затримки 9, яка відповідає проходженню імпульсним оптичним сигналом дальності D_2 . Згідно з запропонованим способом нормоване значення дальності D_1 , що забезпечує оптичну лінію затримки 9, вибране таким, щоб воно відрізнялося від значення дальності D_1 на нормовану за розміром величину ΔD , тобто $\{D_2\} = \{D_1\} + \{\Delta D\}$.

Процес визначення дальності D_2 аналогічним чином (як і у першому такті) повторюється. У другому такті у лічильник імпульсів 16 протягом часу вимірювання Δt_0 поступає N_2 (3) імпульсів. Отриманий результат запам'ятовується.

В третьому такті перша діафрагма 4 встановлюється у відкрите положення (див. рисунок). Замість оптичної лінії затримки 9 встановлюється оптична лінія затримки 10, яка відповідає дальності D_3 .

Після включення джерела оптичного випромінювання 1 за допомогою кнопки „Пуск“ вихідний потік поступає через напівпрозору пластину 2 на дзеркало 3, відбивається від нього і, через складену призму 12 та фокусуючу лінзу 13 поступає на імерсійний фотоприймач 14. Вихідний сигнал імерсійного фотоприймача 14 поступає на компаратор 15. Переднім фронтом вихідного імпульсу компаратора 15 змінюється стан лічильника імпульсів 16 на одиницю і поступає на електричну лінію затримки 17, де затримується на час $\tau_{лз}$. Вихідний імпульс електричної лінії затримки 17 самостійно запускає джерело оптичного випромінювання 1.

Одночасно зазначений вихідний потік джерела оптичного випромінювання 1 віддзеркалюється від напівпрозорої пластини 2, поступає через відкриту першу діафрагму 4 на досліджуваний об'єкт 6, відбивається від нього і, через оптично з'єднані напівпрозору пластину 2, збиральну лінзу 7, оптичну лінію затримки 10, складену призму 12 і фокусуючу лінзу 13 поступає на імерсійний фотоприймач 14.

Вихідний сигнал імерсійного фотоприймача 14 знову поступає на компаратор 15. Переднім фронтом вихідного імпульсу компаратора 15 змінюється стан лічильника імпульсів 16 ще на одиницю. Одночасно вихідний сигнал компаратора 15 через електричну лінію затримки 17 запускає джерело оптичного випромінювання 1. Аналогічним чином у лічильник імпульсів 16 протягом часу вимірювання Δt_0 поступає N_3 (4) імпульсів. Отриманий результат запам'ятовується.

В четвертому такті між збиральною лінзою 7 і складеною призмою 12 встановлюють світловод 11. Вимірювання дальності до досліджуваного об'єкта 6 здійснюється аналогічним чином. У лічильник імпульсів 16 протягом часу вимірювання Δt_0 поступає N_3 (5) імпульсів. Отриманий результат запам'ятовується.

Дійсне значення дальності обчислюється по результатах проміжних вимірювань (2)...(5) згідно з рівнянням числових значень

$$D_x = \{\Delta D\} \cdot \frac{(N_2 - N_3) \cdot (\{D_1\} + \{\Delta D\})}{(N_1 - N_x) \cdot \{D_1\} - (N_2 - N_3) \cdot (\{D_1\} + \{\Delta D\})}$$

Таким чином, запропонований спосіб надлишкових вимірювань дальності забезпечує вирішення зазначеної технічної задачі.

