



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **98177** (13) **C2**

(51) МПК (2012.01)

G01R 25/00

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

<b>(21)</b> Номер заявки:	<b>а 2010 07686</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и):	<b>Баженов Віктор Григорович (UA), Мисливець Людмила Юріївна (UA), Лігоміна Сергій Миколайович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки:	<b>18.06.2010</b>	<b>(73)</b> Власник(и):	<b>НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна (UA)</b>
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід:	<b>25.04.2012</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	<b>UA 78133 C2; 15.02.2007 SU 1430903 A1; 15.10.1988 SU 1596272 A1; 30.09.1990 RU 2020494 C1; 30.09.1994 US 3764903; 09.10.1973 DE 3107651 A1; 16.09.1982 WO 89/01634 A1; 23.02.1989</b>
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку:	<b>26.12.2011, Бюл.№ 24</b>		
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту:	<b>25.04.2012, Бюл.№ 8</b>		

**(54) СПОСІБ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗОВОГО ЗСУВУ РАДІОІМПУЛЬСНИХ ЕХО-СИГНАЛІВ**

**(57) Реферат:**

Винахід належить до фазовимірювальної техніки і може бути використаний у радіолокації, в ультразвуковому неруйнівному контролі матеріалів, конструкцій та інших об'єктів для визначення фізичних властивостей матеріалів, їх якості, залишкового ресурсу різних виробів, втоми та напруженості досліджуваних конструкцій. Спосіб вимірювання фазового зсуву радіоімпульсних ехо-сигналів включає дискретизацію випромінюваного та відбитого сигналів, їх перетворення в цифровий код і ортогональне обчислення фазового зсуву. При цьому коди збережених значень синуса та косинуса опорного сигналу зчитують з частотою дискретизації, частоту, тривалість та період посилок випромінюваного радіосигналу задають також частотою дискретизації синхросигналів. Випромінюваний радіоімпульс та відбитий ехо-сигнал по чергову подають на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП) для перетворення в цифровий код, а зсув фази відбитого ехо-сигналу обчислюють згідно з відповідним виразом. Пристрій для здійснення вказаного способу містить АЦП, постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП), який складається з ПЗП синусоїдального сигналу і ПЗП косинусоїдального сигналу, блок обчислення та блок формування радіоімпульсних сигналів, який містить генератор синхросигналів частоти дискретизації, подільник частоти, формувач імпульсів та модулятор. А також містить цифровий синтезатор частоти синусоїдального сигналу, випромінюючий пристрій, яким є датчик об'єкта контролю, лічильник імпульсів, два помножувачі цифрових сигналів та цифровий відліковий пристрій. Спосіб та пристрій забезпечують підвищення точності та зменшення похибки вимірювання.

UA 98177 C2

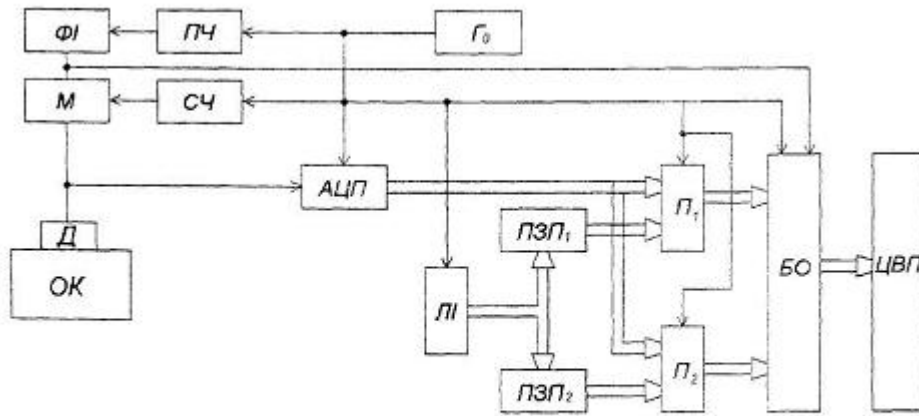


Fig.

Винахід належить до фазовимірювальної техніки і може бути використаний у радіолокації; в ультразвуковому неруйнівному контролі при вимірюванні фазового зсуву ультразвукових (УЗ) коливань у матеріалах, конструкціях та об'єктах для визначення фазової швидкості розповсюдження УЗ коливань і фізичних властивостей матеріалів (модуль Юнга та ін.), їх якості, залишкового ресурсу різних виробів, втоми та напруженості досліджуваних конструкцій.

Найбільш близьким аналогом є спосіб вимірювання фазового зсуву (див. Чмых М.К., Цифровая фазометрия. - М.: Радио и связь, 1993г., стр.16). Даний аналог включає спосіб вимірювання фазового зсуву з дискретною ортогональною обробкою сигналів, який заснований на перетворенні опорного сигналу в цифрову форму та дискретизації вимірюваного сигналу, перетворенні його в цифрову форму і наступній цифровій обробці з метою знаходження синфазної (синусної)  $a_s$  й ортогональної (косинусної)  $a_c$  складових цього сигналу, за якими обчислюється фазовий зсув.

Недоліком цього способу є те, що сигнал випромінювання, сигнал запуску аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та сигнал зчитування постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП), в якому зберігаються коди значень синуса та косинуса опорного сигналу, не синхронізовані між собою, що призводить до значної похибки вимірювання. Крім того, вимірювання відомим способом проводиться, коли одночасно присутні опорний та вимірювальний сигнали на двох відповідних входах вимірювача, що неможливо для проведення вищезгаданих вимірювань, для яких необхідний специфічний фазометр, входи вимірювального та опорного сигналу якого повинні бути об'єднаними, а опорний та вимірювальний сигнали рознесеними в часі, тобто такі, що являють собою радіоімпульси.

В основу винаходу було поставлено задачу вимірювання фазового зсуву радіоімпульсних сигналів, рознесених у часі, які з'являються на одному вході, підвищення точності ортогонального способу вимірювання фазового зсуву шляхом формування випромінюваного сигналу з синхросигналу дискретизації АЦП та синхронізації опорних ортогональних цифрових сигналів, помножувачів кодів і роботи обчислювального пристрою, що зменшує похибку вимірювання.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі вимірювання фазового зсуву радіоімпульсних ехо-сигналів, який включає дискретизацію випромінюваного та відбитого сигналів, їх перетворення в цифровий код і ортогональне обчислення фазового зсуву, новим є те, що з частотою дискретизації зчитують коди збережених значень синуса та косинуса опорного сигналу, а частоту, тривалість та період посилок випромінюваного радіосигналу задають також частотою дискретизації тактових імпульсів, випромінюваний радіоімпульс та відбитий ехо-сигнал по чергові подають на вхід АЦП для перетворення в цифровий код, а зсув фази відбитого ехо-сигналу обчислюють згідно з виразом:  $\Delta\varphi = \varphi_e - \varphi_i$ , де  $\varphi_i$  - значення фази випромінюваного сигналу в межах від 0 до  $2\cdot\pi$ ;  $\varphi_e$  - абсолютне виміряне значення фази ехо-сигналу в межах від 0 до  $2\cdot\pi$  в момент перевищення порогу його виявлення.

Якщо випромінюваний сигнал містить більше двох періодів, то для визначення повного фазового зсуву необхідно додатково скористатись способом багатоскальних вимірювань (див. патент України 47545, G01N 29/18).

Спосіб може бути реалізований за допомогою пристрою для вимірювання фазового зсуву радіоімпульсних ехо-сигналів.

Найбільш близьким аналогом є пристрій для вимірювання фазового зсуву (див. Чмых М.К. Цифровая фазометрия. - М.: Радио и связь, 1993г., стр.143). Даний аналог містить послідовно ввімкнені АЦП, ПЗП, в якому зберігаються значення синусного й косинусного опорного сигналу, та блок обчислення фазового зсуву. Вхід АЦП є входом пристрою. Перемноження кодів значень вимірюваного сигналу на коди опорного сигналу та додавання результатів множення виконується в блоках помножувачів цифрових сигналів, які ввімкнені послідовно з АЦП та ПЗП, а в блоці обчислення фазового зсуву розраховується його значення за формулою:

$$\varphi = \arctg \frac{a_c}{a_s},$$

де  $a_c$  і  $a_s$  дві ортогональні складові опорного сигналу.

Недоліками цього пристрою є неможливість його застосування для вимірювання фазового зсуву рознесених у часі сигналів, які по чергові приходять на один і той же вхід; необхідність одночасної присутності опорного сигналу з вимірювальним, частота яких однакова, а також відповідно присутності другого входу для опорного сигналу; низька точність внаслідок відсутності зв'язку між сигналами запуску АЦП та сигналами зчитування ПЗУ значень синусоїдального та косинусоїдального сигналів.

В основу винаходу було поставлено задачу вимірювання фазового зсуву рознесених у часі опорного і ехо-сигналів, які по чергові приходять на один і той же вхід АЦП, шляхом використання одного джерела тактових імпульсів для блока формування радіоімпульсних сигналів і для формування сигналів дискретизації АЦП, зчитування ПЗУ та синхронізації блока обчислення, що підвищує точність та зменшує похибку вимірювання.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для вимірювання фазового зсуву радіоімпульсних ехо-сигналів, який містить послідовно включений АЦП, вхід якого є входом пристрою, ПЗП та блок обчислення, новим є те, що пристрій має блок формування радіоімпульсного сигналу, який містить послідовно з'єднані генератор синхросигналу (тактових імпульсів), подільник частоти, формувач імпульсів, модулятор, до другого входу якого підключено вихід цифрового синтезатора частоти синусоїдального сигналу, вхід якого разом із входом дискретизації АЦП з'єднано з генератором синхросигналів, вихід модулятора підключено до випромінюючого пристрою, а також до входу АЦП, причому ПЗП містить ПЗП синусоїдального сигналу і ПЗП косинусоїдального сигналу, а також лічильник імпульсів, виходи якого підключено до адресних входів обох ПЗП, виходи даних ПЗП синусоїдального сигналу підключено до других входів першого помножувача цифрових сигналів, а виходи даних ПЗП косинусоїдального сигналу підключено до других входів іншого помножувача цифрових сигналів, перші входи обох помножувачів цифрових сигналів з'єднано з виходами АЦП, виходи помножувачів цифрових сигналів з'єднано з входами блока обчислення, який з'єднаний із цифровим індикатором, причому входи синхронізації обох помножувачів цифрових сигналів, блока обчислення, а також лічильний вхід лічильника імпульсів з'єднано з виходом генератора синхроімпульсів, а вихід формувача імпульсів з'єднано з другим входом синхронізації блока обчислення.

На кресленні зображена функціональна схема реалізації фазометра для вимірювання фазового зсуву радіоімпульсних ехо-сигналів.

Функціональна схема містить:

$G_0$  - генератор синхросигналів частоти дискретизації, ФІ - формувач імпульсів, М - модулятор, ПЧ - подільник частоти, СЧ - синтезатор частоти синусоїдального сигналу, Д - датчик, ОК - об'єкт контролю, АЦП - аналого-цифровий перетворювач, ЛІ - лічильник імпульсів, ПЗП<sub>1</sub> і ПЗП<sub>2</sub> - постійні запам'ятовуючі пристрої синусоїдального та косинусоїдального сигналів відповідно, П<sub>1</sub> і П<sub>2</sub> - помножувачі цифрових сигналів, БО - блок обчислення, ЦВП - цифровий відліковий пристрій.

Принцип роботи пропонованого фазометра полягає в наступному. З генератора тактових імпульсів  $G_0$  на блок формування радіоімпульсних сигналів подаються імпульси частоти дискретизації. Подільник частоти ПЧ виконує зменшення частоти і таким чином формує частоту посилок радіоімпульсів. Формувач імпульсів ФІ задає довжину імпульсів. На виході синтезатора частоти синусоїдального сигналу СЧ формується синусоїдальний сигнал, який подається на модулятор М. З модулятора готовий радіоімпульс через датчик Д надходить до об'єкту контролю ОК. АЦП перетворює випромінюваний радіоімпульсний сигнал у цифрову форму, звідки він подається на помножувачі цифрових сигналів П<sub>1</sub> і П<sub>2</sub>. Блок формування опорного сигналу складається із лічильника імпульсів ЛІ та двох ПЗП<sub>1</sub> і ПЗП<sub>2</sub>, в яких відповідно зберігаються значення синусоїдальної та косинусоїдальної складових опорного сигналу. Цифрові помножувачі окремо виконують операції множення випромінюваного сигналу на складові опорного сигналу, результати яких надходять до блока обчислення БО, де розраховується абсолютне значення фази випроміненого радіосигналу  $\varphi_i$ , яке запам'ятовується. Відбитий ехо-сигнал подається через датчик також на АЦП, а потім на помножувачі цифрових сигналів. В БО розраховується абсолютне значення фази ехо-сигналу тільки в той момент часу, коли значення коду з АЦП перевищить поріг його виявлення, тобто БО окрім обчислення фазового зсуву отриманого ехо-сигналу, виконує функцію порогового фільтра. Кінцевий результат розраховується згідно з наведеним вище виразом і візуалізується за допомогою ЦВП.

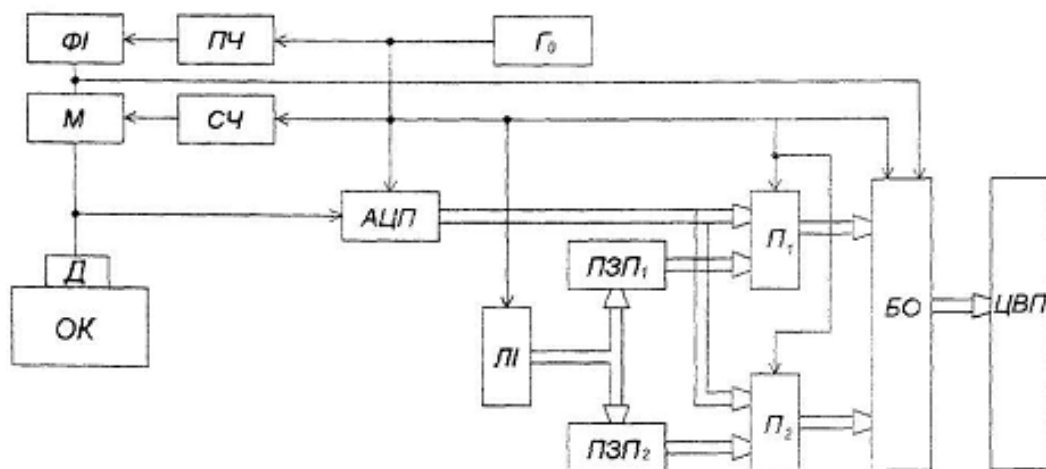
Блоки помножувачів та блоки ПЗП синусоїдального та косинусоїдального сигналів можна реалізувати на одній мікросхемі AD6620.

## ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

1. Спосіб вимірювання фазового зсуву радіоімпульсних ехо-сигналів, що включає дискретизацію випромінюваного та відбитого сигналів, їх перетворення в цифровий код і ортогональне обчислення фазового зсуву, який **відрізняється** тим, що коди збережених значень синуса та косинуса опорного сигналу зчитують з частотою дискретизації, частоту, тривалість та період

посилок випромінюваного радіосигналу задають також частотою дискретизації синхросигналів, випромінюваний радіоімпульс та відбитий ехо-сигнал по чергові подають на вхід аналого-цифрового перетворювача для перетворення в цифровий код, а зсув фази відбитого ехо-сигналу обчислюють згідно з виразом:  $\Delta\varphi = \varphi_e - \varphi_i$ , де  $\varphi_i$  - значення фази випромінюваного сигналу в межах від 0 до  $2\pi$ ,  $\varphi_e$  - абсолютне виміряне значення фази ехо-сигналу в межах від 0 до  $2\pi$  в момент перевищення порогу його виявлення.

2. Пристрій для вимірювання фазового зсуву радіоімпульсних ехо-сигналів, що містить аналого-цифровий перетворювач (АЦП), вхід якого є входом пристрою, постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП) та блок обчислення, який **відрізняється** тим, що в нього додатково введені блок формування радіоімпульсних сигналів, який містить послідовно з'єднані генератор синхросигналів частоти дискретизації, подільник частоти, формувач імпульсів та модулятор, до другого входу якого підключений вихід цифрового синтезатора частоти синусоїдального сигналу, вхід якого разом із входом дискретизації АЦП з'єднані з генератором синхросигналів частоти дискретизації, вихід модулятора підключений до випромінюючого пристрою, яким є датчик об'єкта контролю, а також до входу АЦП, причому ПЗП складається з ПЗП синусоїдального сигналу і ПЗП косинусоїдального сигналу, а також містить лічильник імпульсів, виходи якого підключені до адресних входів обох ПЗП, виходи даних ПЗП синусоїдального сигналу підключені до других входів першого помножувача цифрових сигналів, а виходи даних ПЗП косинусоїдального сигналу підключені до других входів другого помножувача цифрових сигналів, перші входи обох помножувачів цифрових сигналів з'єднані з виходами АЦП, виходи помножувачів цифрових сигналів з'єднані з входами блока обчислення, який з'єднаний із цифровим відліковим пристроєм, при цьому входи синхронізації обох помножувачів цифрових сигналів і перший вхід синхронізації блока обчислення, а також лічильний вхід лічильника імпульсів з'єднані з виходом генератора синхроімпульсів частоти дискретизації, а вихід формувача імпульсів з'єднаний з другим входом синхронізації блока обчислення.



Комп'ютерна верстка Н. Лисенко

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