



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **105074** (13) **C2**
(51) МПК (2014.01)
G04F 10/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

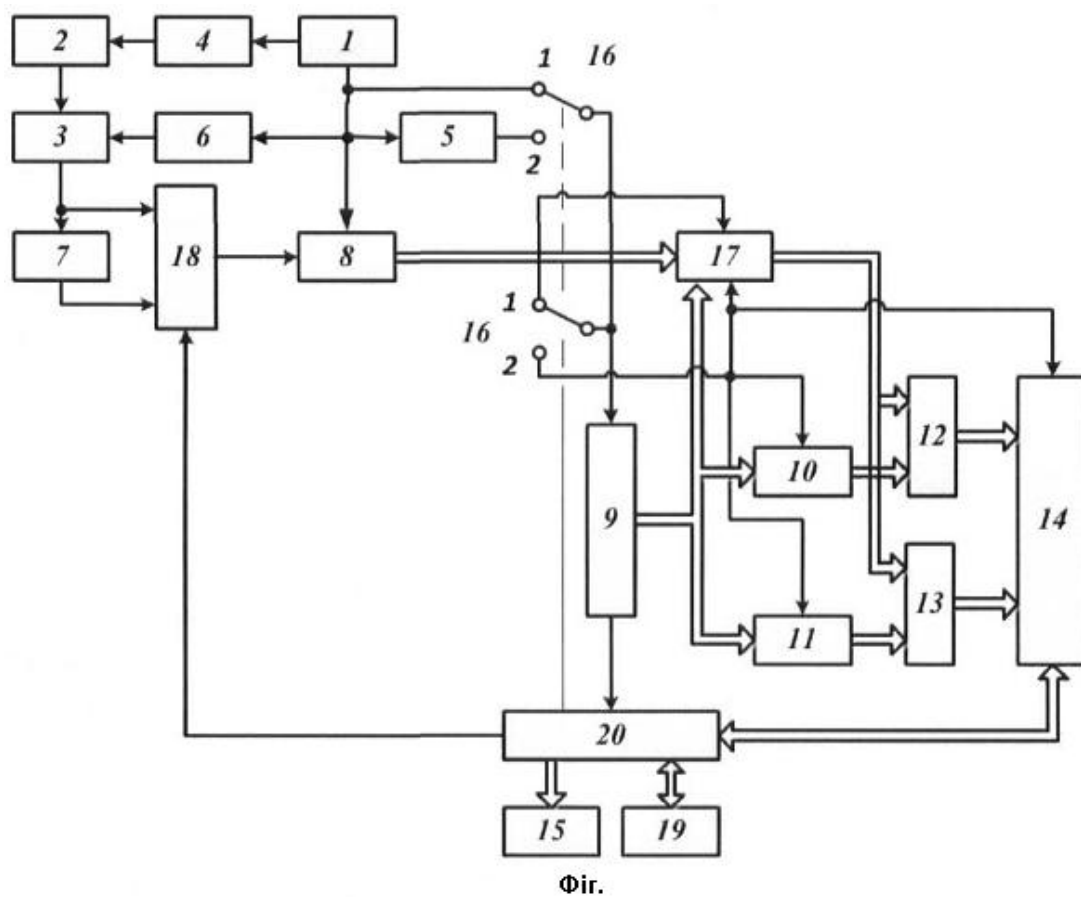
(21) Номер заявки:	а 2012 06917	(72) Винахідник(и):	Баженов Віктор Григорович (UA), Богдан Галина Анатоліївна (UA), Грузін Сергій Валерійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	06.06.2012	(73) Власник(и):	НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КІЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", пр. Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	10.04.2014	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	UA 70199 U; 25.05.2012 UA 98177 C2; 25.04.2012 SU 1446597 A1; 23.12.1988 SU 864239 A1; 15.09.1981 RU 2020494 C1; 30.09.1994 RU 2089920 C1; 10.09.1997 JP 2002196087 A; 10.07.2002 JP 2001311754 A; 09.11.2001 WO 8901634 A1; 23.02.1989 Чмых М. К. Цифровая фазометрия. - М.: Радио и связь, 1993. - С. 16-18
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.12.2013, Бюл.№ 23		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.04.2014, Бюл.№ 7		

(54) ЦИФРОВИЙ СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗОВОГО ЧАСУ ПРОХОДЖЕННЯ РАДІОІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ

(57) Реферат:

Цифровий спосіб вимірювання фазового часу проходження радіоімпульсних сигналів належить до вимірювальної техніки і може бути використаний в ультразвуковому неруйнівному контролі матеріалів, конструкцій та об'єктів. Обчислення фазового часу проходження виконують в два етапи, кожний з яких складається з двох циклів. На першому циклі з частотою дискретизації АЦП накопичують цифрові коди отриманих вибірок в накопичувальному ОЗП, причому частоту, тривалість, період посилок випромінюваного радіосигналу формують від одного генератора сигналів частоти дискретизації. На другому циклі виконують безпосереднє обчислення фази сигналу, причому частоту сигналу зчитування ПЗП, в якому зберігають коди значень синуса та косинуса опорного сигналу, а також частоту зчитування накопичувального ОЗП отримують шляхом поділення частоти дискретизації. Випромінюваний радіоімпульс та вимірюваний подають на один вхід АЦП для перетворення в цифровий код в два етапи. На першому етапі на вхід АЦП одноразово подають сигнал з опорного генератора для визначення його початкової фази. На другому етапі проводять визначення фази вимірюваних сигналів, які перевищують поріг чутливості, а час проходження радіоімпульсних сигналів обчислюють згідно з формулою. Технічним результатом є підвищення точності та завадостійкості вимірювання, розширення верхнього частотного діапазону вимірювальних сигналів та спрощення апаратної реалізації цього способу.

UA 105074 C2



Винахід належить до галузі вимірювальної техніки і може бути використаний в ультразвуковому неруйнівному контролі матеріалів, конструкцій та об'єктів, для визначення фазової швидкості УЗ коливань і відповідно визначення фізичних властивостей цих 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, 1993. - с. 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) α_s й ортогональної (косинусної) α_c складових цього сигналу, за якими

обчислюється фазовий зсув: $\varphi = \arctg \frac{\alpha_s}{\alpha_c}$. Цей метод має високу точність, оскільки операція

множення виконується на цифровому рівні.

Недоліком цього способу є те, що сигнал зчитування постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП), в якому зберігаються коди значень синуса та косинуса опорного сигналу, та сигнали випромінювання і запуску аналого-цифрового перетворювача (АЦП) не синхронізовані між собою, що призводить до значної похибки вимірювання, головною вимогою для проведення якого є дуже висока точність. Крім того верхній діапазон частот вимірювальних сигналів значно обмежується швидкодією елементної бази сучасних помножувачів кодів (або ДСП процесорів), а також інтерфейсів передачі даних. В основу винаходу було поставлено задачу визначення фазового часу затримки ультразвукового сигналу шляхом вимірювання фазового зсуву цього сигналу між опорним та вимірним сигналами при проходженні ультразвукових коливань через досліджуваний об'єкт, дискретним ортогональним способом шляхом формування випромінюваного сигналу з синхросигналу дискретизації АЦП та синхронізації опорних ортогональних цифрових сигналів, помножувачів кодів та роботи обчислювального пристрою, а також розширення верхнього частотного діапазону вимірювальних сигналів шляхом введення двох циклів для визначення фази сигналу: 1) швидкого накопичення даних і 2) поступової їх обробки.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі вимірювання фазового часу проходження радіоімпульсних сигналів, який включає дискретизацію вимірюваного сигналу, його перетворення в цифровий код і обчислення часу проходження радіоімпульсних сигналів, новим є те, що обчислення фазового часу проходження виконують в два етапи, кожний з яких складається з двох циклів; на першому циклі з частотою дискретизації АЦП накопичують цифрові коди отриманих вибірок в накопичувальному ОЗП, причому частоту, тривалість, період посилок випромінюваного радіосигналу формують від одного генератора Γ_0 сигналів частоти дискретизації, а на другому циклі виконують безпосереднє обчислення фази сигналу, причому частоту сигналу зчитування постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП), в якому зберігають коди значень синуса та косинуса опорного сигналу, а також частоту зчитування накопичувального ОЗП отримують шляхом поділення частоти дискретизації, крім того випромінюваний радіоімпульс та вимірюваний подають на один вхід АЦП для перетворення в цифровий код в два етапи; на першому етапі на вхід АЦП одноразово подають сигнал з опорного генератора для визначення його початкової фази φ_i ; на другому етапі проводять визначення фази вимірюваних сигналів φ_e , які перевищують поріг чутливості, а час

проходження радіоімпульсних сигналів обчислюють згідно з виразом: $\tau_\varphi = \frac{\varphi_e - \varphi_i}{\omega}$, де φ_i -

значення фази випромінюваного опорного сигналу в межах від 0 до $2 \cdot \pi$; φ_e - абсолютне вимірне значення фази вимірюваного сигналу в межах від 0 до $2 \cdot \pi$ в момент часу, коли значення коду з АЦП перевищить поріг його виявлення; ω - частота сигналу. Спосіб може бути реалізований за допомогою пристрою, який показано на кресленні.

Структурна схема містить:

1 - генератор сигналів частоти дискретизації (Γ_0), 2 - формувач імпульсів (Φ), 3 - модулятор (M), 4,5 - подільники частоти відповідно ($ПЧ_1$, $ПЧ_2$), 6 - синтезатор частоти ($СЧ$), 7 - об'єкт контролю ($ОК$), 8 - аналого-цифровий перетворювач ($АЦП$), 9 - лічильник імпульсів ($ЛІ$), 10, 11 - постійні запам'ятовуючі пристрої синусоїдального та косинусоїдального сигналів відповідно ($ПЗП_1$ і $ПЗП_2$), 12, 13 - помножувачі цифрових сигналів відповідно ($П_1$ і $П_2$), 14 - блок обчислення ($БО$), 15 - цифровий відліковий пристрій ($ЦВП$), 16 - комутатор (K), 17 - оперативний

запам'ятовуючий пристрій (ОЗП), 18 - аналоговий мультиплексор (АМХ), 19 - персональний комп'ютер (ПК), 20 - блок керування (БК).

Принцип роботи пропонованого фазометра полягає в наступному. З генератора сигналів частоти дискретизації Γ_0 на блок формування радіоімпульсних сигналів, який складається з:

- 5 ПЧ1 - подільника частоти, ФІ - формувача імпульсів, М - модулятора, СЧ - синтезатора частоти, подають імпульси частоти дискретизації АЦП. Подільник частоти ПЧ1 виконує зменшення частоти і таким чином формує частоту посилок радіоімпульсів. Формувач імпульсів ФІ задає період слідування імпульсів. На виході синтезатора частоти СЧ формують періодичний синусоїдальний сигнал, який подають на модулятор М. З модулятора готовий радіоімпульс
- 10 подають на об'єкт контролю ОК. На першому етапі першого циклу випромінюваний радіоімпульсний сигнал через перемикач АМХ, керований блоком обчислення БО, подають на вхід АЦП, який перетворює випромінюваний радіоімпульсний сигнал в цифрову форму, звідки він з такою ж частотою запам'ятовується в накопичувальному ОЗП, адресу якого формують за допомогою лічильника імпульсів ЛІ з частотою дискретизації АЦП. Після заповнення ОЗП (по
- 15 сигналу переповнення лічильника імпульсів (адреси) ЛІ) виконують обчислення накопичених даних в ОЗП для цього перемикач К встановлюють в положення 2 по команді з БК. При цьому виконують синхронне зчитування даних з ОЗП та ПЗП₁ і ПЗП₂ шляхом подачі сигналів зчитування з комутатора К₁₁ на входи зчитування ОЗП, ПЗП₁, ПЗП₂ та БО та відповідного формування адреси ОЗП та ПЗП₁ і ПЗП₂ за допомогою ЛІ з частотою сигналів зчитування.
- 20 Причому частота зчитування даних буде зменшена від частоти дискретизації за допомогою ПЧ2, що значно зменшить вимоги до помножувачів П₁ і П₂ та блока обчислення БО, а при високих частотах заповнення радіоімпульсів зробить можливим апаратну реалізацію такого методу вимірювання. Коди з ОЗП, а також з ПЗП₁ і ПЗП₂, в яких відповідно зберігаються
- 25 значення синусної та косинусної складових випромінюваного сигналу, синхронно подають на помножувачі цифрових сигналів відповідно П₁ і П₂. Блок формування опорного сигналу складається із лічильника імпульсів ЛІ та двох ПЗП₁ і ПЗП₂ формує цифрові опорні сигнали, тільки коли комутатор К знаходиться в положенні "2". Цифрові помножувачі окремо виконують операції множення вибірок випромінюваного сигналу від АЦП (накопичених в ОЗП) на коди
- 30 складових опорного (Sin, Cos) цифрового сигналу, які одночасно синхронно подають на їх відповідні цифрові входи, результати з помножувачів надходять до блока обчислення БО, де виконують фільтрацію отриманих сигналів, отримують проекції (Sin, Cos) a_s і a_c випроміненого сигналу та розраховують абсолютне значення фази випроміненого радіосигналу φ_i . На другому
- етапі на вхід АЦП за допомогою аналогового мультиплексора АМХ подають вимірювальний сигнал з виходу досліджуваного об'єкта, який відповідно, як і на першому етапі першого циклу,
- 35 накопичують, а потім в другому циклі зчитують і відповідно обробляють. В БО розраховують абсолютне значення фази вимірювального сигналу тільки в той момент часу, коли значення коду з АЦП перевищить поріг його виявлення, тобто БО окрім обчислення фазового зсуву отриманого вимірювального сигналу і розрахунку фазового часу затримки, виконує також
- функцію порогового фільтра. Причому перший етап визначення початкової фази
- 40 випромінюваного сигналу проводять одноразово в залежності від типу досліджуваного об'єкта контролю, тому що фаза випромінюваного сигналу синхронізована з частотою дискретизації АЦП фактично завжди фіксована і може змінюватись в невеликих межах від зміни типу об'єкта контролю, тобто вхідного реактивного опору. Результат вимірювання може фіксуватись за допомогою цифрового відлікового пристрою ЦВП або комп'ютера ПК, за допомогою ПК можна
- 45 також змінювати режими роботи пристрою, виконувати додаткові функції по обробці та документуванню результатів вимірювання.

Використання фактично одного вимірювального каналу в вигляді одного АЦП при відносних вимірюваннях (вимірювання початкової фази випромінюваного сигналу, на другому етапі абсолютної фази вимірювального сигналу, потім знаходження різниці цих фаз) значно підвищує

- 50 точність визначення фазового часу затримки. Крім того використання ортогонального методу обробки результатів вимірювання підвищує точність, а також завадостійкість вимірювань. Причому ортогональний метод, як відомо, дозволяє розраховувати не тільки фазу першої гармоніки сигналу, а й амплітуду, якщо буде потрібно. Синхронізація запуску роботи АЦП, роботи помножувачів кодів, блока обчислення БО, а також формувача випромінюваного
- 55 радіоімпульсного сигналу від високо стабільного опорного генератора Γ_0 дозволяє робити ці вимірювання циклічними і виконувати багатократне вимірювання і потім осереднення отриманих результатів, що також значно підвищує точність вимірювання і в принципі дає можливість проведення фазових вимірювань. Використання накопичувального ОЗП з подальшим зчитуванням (в другому циклі), а також обробка цих результатів на зменшеній частоті від

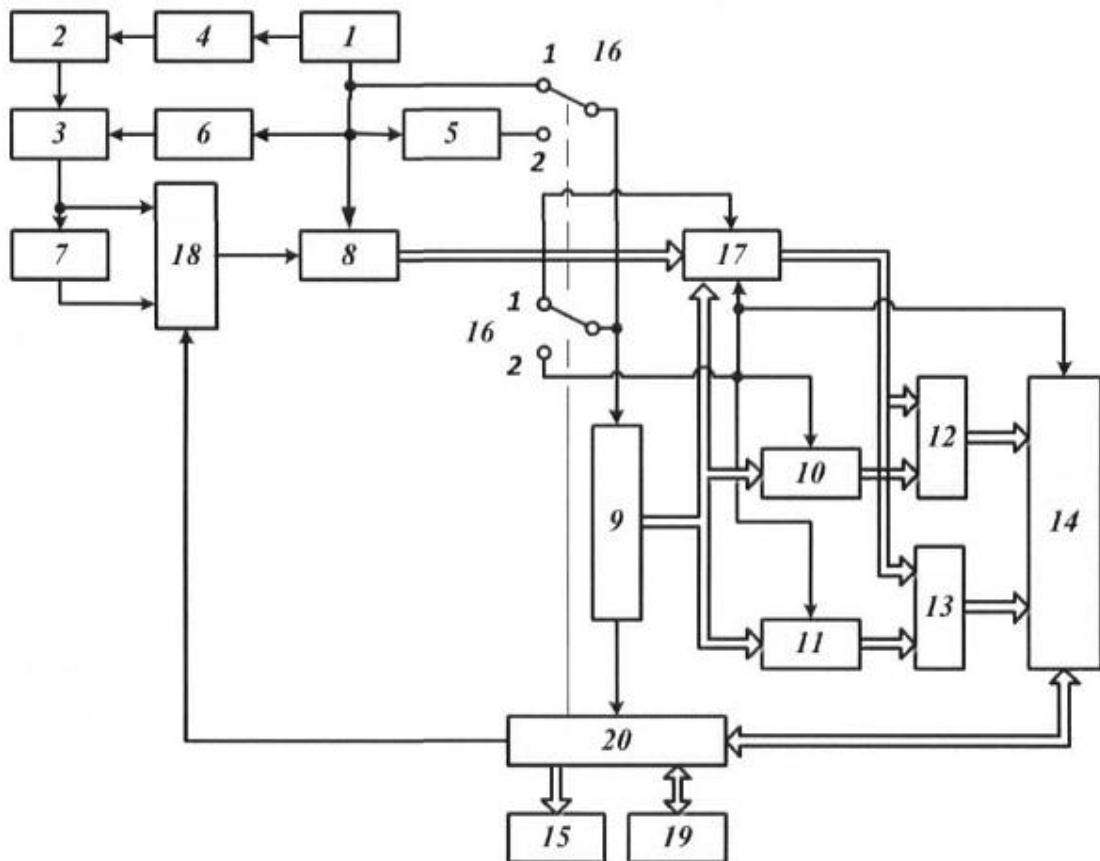
частоти дискретизації дозволяє значно спростити апаратну реалізацію цього методу при використанні сигналів з високою частотою заповнення.

Блок формування опорного сигналу та БО можна реалізувати на одній мікросхемі AD6620.

5

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Цифровий спосіб вимірювання фазового часу проходження радіоімпульсних сигналів, що включає дискретизацію вимірюваного сигналу, його перетворення в цифровий код і обчислення часу проходження радіоімпульсних сигналів, який **відрізняється** тим, що обчислення фазового часу проходження виконують в два етапи, кожний з яких складається з двох циклів, де в першому циклі з частотою дискретизації аналого-цифрового перетворювача (АЦП) накопичують цифрові коди отриманих вибірок в накопичувальному оперативному запам'ятовуючому пристрої (ОЗП), причому частоту, тривалість, період посилок випромінюваного радіосигналу формують від одного генератора Γ_0 сигналів частоти дискретизації, а в другому циклі виконують безпосереднє обчислення фази сигналу, причому частоту сигналу зчитування постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП), в якому зберігають коди значень синуса та косинуса опорного сигналу, а також частоту зчитування накопичувального ОЗП отримують шляхом поділення частоти дискретизації, крім того випромінюваний радіоімпульс та вимірюваний подають на один вхід АЦП для перетворення в цифровий код в два етапи, на першому етапі на вхід АЦП одноразово подають випромінюваний сигнал для визначення його початкової фази φ_i , а на другому етапі проводять визначення фази вимірюваних сигналів φ_e , які перевищують поріг чутливості, і час проходження радіоімпульсних сигналів обчислюють згідно з виразом:

$$\tau_{\varphi} = \frac{\varphi_e - \varphi_i}{\omega}, \text{ де } \varphi_i - \text{значення фази випромінюваного сигналу в межах від } 0 \text{ до } 2 \cdot \pi, \varphi_e - \text{абсолютне виміряне значення фази вимірюваного сигналу в межах від } 0 \text{ до } 2 \cdot \pi \text{ в момент часу, коли значення коду з АЦП перевищить поріг його виявлення, } \omega - \text{частота сигналу.}$$


Комп'ютерна верстка М. Ломалова

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