



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **105844** (13) **C2**
(51) МПК (2014.01)
G04F 10/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2012 12195	(72) Винахідник(и): Баженов Віктор Григорович (UA)
(22) Дата подання заявки: 24.10.2012	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КІЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", просп. Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.06.2014	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 70199 U; 25.02.2012 UA a201007686; 26.12.2011 UA 80047 C2; 10.08.2007 SU 864239; 15.09.1981 SU 1651227 A2; 23.05.1991 US 2008172194 A1; 17.07.2008 US 3764903 A; 09.10.1973 GB 1507323 A; 12.04.1978
(41) Публікація відомостей про заяву: 25.04.2014, Бюл.№ 8	Чмых М.К. Цифровая фазометрия. – М.: Радио и связь, 1993. - С. 14-18
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2014, Бюл.№ 12	

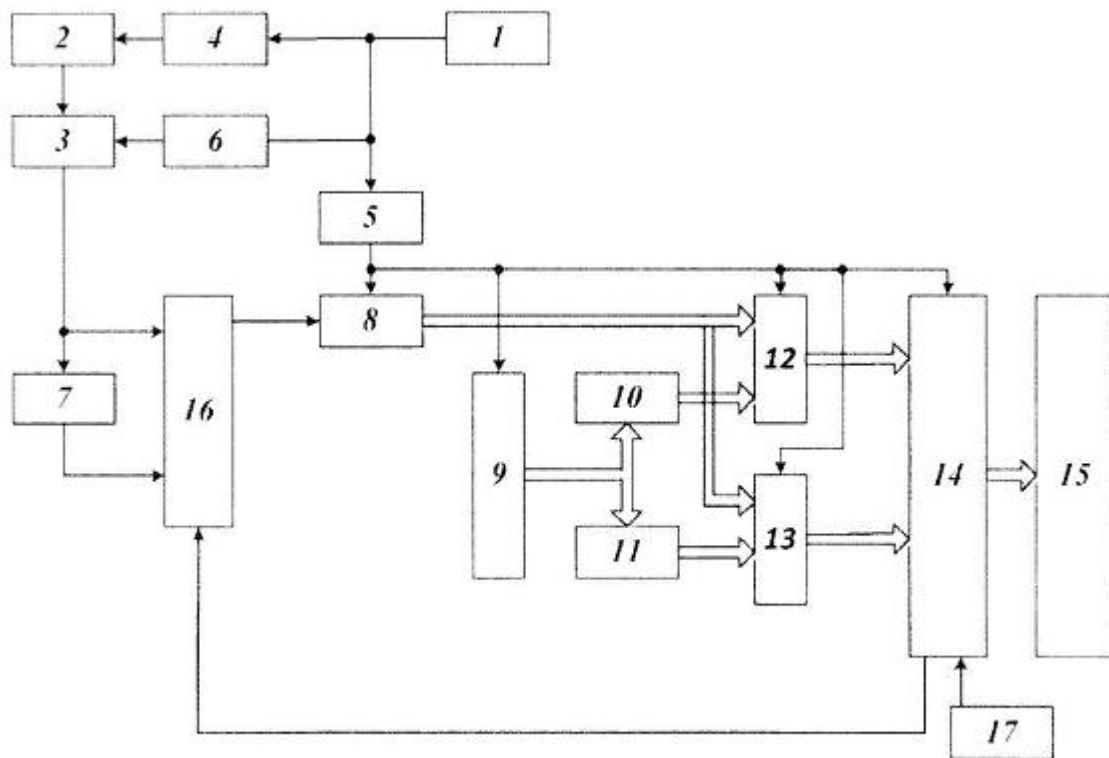
(54) СТРОБОСКОПІЧНИЙ СПОСІБ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗОВОГО ЧАСУ ПРОХОДЖЕННЯ РАДІОІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ

(57) Реферат:

Стробоскопічний спосіб для вимірювання часу проходження радіоімпульсних сигналів 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, їх якості, залишкового ресурсу різних виробів, втоми та напруженості досліджуваних конструкцій. Спосіб включає дискретизацію вимірюваного сигналу, його перетворення в цифровий код і обчислення часу проходження радіоімпульсних сигналів. При цьому частоту ω , тривалість T_i , період посилок T_n радіоімпульсного сигналу формують від одного генератора (G_0) синхросигналів, а радіоімпульс та вимірюваний сигнал подають на один вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП) для перетворення в цифровий код в два етапи; на першому етапі на вхід АЦП одноразово подають радіоімпульс для визначення його початкової фази; на другому етапі проводять визначення фази вимірюваних сигналів, які перевищують поріг чутливості, а потім обчислюють час проходження радіоімпульсних сигналів. Частоту сигналу дискретизації f_g АЦП і сигналів зчитування постійних запам'ятовуючих пристроїв (ПЗП1, ПЗП2), в яких зберігають коди значень синуса та косинуса опорного сигналу, отримують відповідно до виразу: $f_g = \frac{K}{T_n \cdot K \cdot P + T_0}$, де K -

число вибірок у вимірювальному сигналі на період частоти заповнення радіоімпульсного сигналу після стробоскопічного перетворення на виході АЦП; P - ціле число від 1,2,3, яке вибирається в подільнику частоти (ПЧ2). За допомогою запропонованого способу здійснено розширення верхнього частотного діапазону вимірювальних сигналів за рахунок використання стробоскопічного перетворення частоти.

UA 105844 C2



Фиг.

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 часу проходження радіоімпульсних сигналів (див. Патент України на корисну модель № 70199 від 25.05.2012 р.). Даний патент включає спосіб вимірювання фазового часу проходження радіоімпульсних сигналів з дискретною ортогональною обробкою сигналів, який включає дискретизацію вимірюваного сигналу, його перетворення в цифровий код і обчислення часу проходження радіоімпульсних сигналів, причому частоту $1/T_0$ тривалість T_i , період посилок T_n випромінюваного радіоімпульсного сигналу формують від одного генератора G_0 синхросигналів, а випромінюваний радіоімпульс та вимірюваний сигнал подають на один вхід АЦП для перетворення в цифровий код в два етапи; на першому етапі на вхід АЦП одноразово подають випромінюваний радіоімпульс 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 виразом:

$$\tau_\phi = \frac{\phi_e - \phi_i}{\omega}, \text{ де } \phi_i - \text{значення фази випромінюваного сигналу в межах від } 0 \text{ до } 2\pi; \phi_e$$

абсолютне вимірне значення фази вимірюваного сигналу в межах від 0 до 2π , ω – частота сигналу. Цей спосіб має високу точність, оскільки операція множення виконується на цифровому рівні.

Недоліком цього способу є те, що зчитування постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП), в якому зберігаються коди значень синуса та косинуса опорного сигналу, а також запуск аналого-цифрового перетворювача (АЦП) виконується з частотою генератора синхросигналів, що призводить до того, що верхній діапазон частот вимірювальних сигналів значно обмежується швидкістю елементної бази сучасних АЦП, помножувачів кодів (або ДСП процесорів), а також інтерфейсів передачі даних.

В основу винаходу було поставлено задачу розширення верхнього частотного діапазону вимірювальних сигналів за рахунок використання стробоскопічного перетворення частоти.

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, причому частоту ω , тривалість T_i , період посилок T_n радіоімпульсного сигналу формують від одного генератора G_0 синхросигналів, а радіоімпульс та вимірюваний сигнал подають на один вхід АЦП для перетворення в цифровий код в два етапи; на першому етапі на вхід АЦП одноразово подають радіоімпульс 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 виразом: $\tau_\phi = \frac{\phi_e - \phi_i}{\omega}$, де ϕ_i

значення фази випромінюваного сигналу в межах від 0 до 2π ; ϕ_e , - абсолютне вимірне значення фази вимірюваного сигналу в межах від 0 до 2π в момент часу, коли значення коду з АЦП перевищить поріг його виявлення; ω частота сигналу, новим є те що частоту сигналів дискретизації f_g аналого-цифрового перетворювача (АЦП) і зчитування постійних запам'ятовуючих пристроїв (ПЗП), в яких зберігають коди значень синуса та косинуса опорного сигналу, отримують шляхом ділення частоти генератора синхросигналів і вибирають рівною:

$$f_g = \frac{K}{T_n \cdot K \cdot P + T_0},$$

де K - число вибірок у вимірювальному сигналі за період частоти заповнення радіоімпульсного сигналу після стробоскопічного перетворення на виході АЦП;

P - ціле число від 1,2,3 ..., яке обирається в подільнику частоти ПЧ2.

Спосіб може бути реалізований за допомогою пристрою, який показано на кресленні.

Структурна схема містить:

1 (G_0) генератор сигналів частоти дискретизації, 2 (Φ) формувач імпульсів, 3 (M) модулятор, 4, 5 (ПЧ1, ПЧ2) - подільники частоти, 6 (СЧ) синтезатор частоти, 7 ((ОК) об'єкт контролю, 8 (АЦП) аналого-цифровий перетворювач, 9 (ЛІ) лічильник імпульсів, 10 (ПЗП₁) і 11 (ПЗП₂) - постійні запам'ятовуючі пристрої синусоїдального та косинусоїдального сигналів відповідно, 12 (П₁) і 13 (П₂) помножувачі цифрових сигналів, 14 (БО) блок обчислення, 15 (ЦВП) цифровий відліковий пристрій, 16 (АМХ) аналоговий мультіплексор, 17 (БК) блок керування.

Принцип роботи пропонованого способу полягає в наступному. З генератора синхросигналів Γ_0 подають імпульси на блок формування радіоімпульсних сигналів, який складається з: ПЧ1 - подільника частоти, ФІ формувача імпульсів, М модулятора, СЧ синтезатора частоти, на виході якого формують радіоімпульси з кратною до частоти синхросигналів частотою заповнення

(виконується за допомогою синтезатора частоти СЧ, наприклад типу DDS), а також кратним періодом посилок до періоду заповнення (виконується за допомогою ПЧ1 та ФІ). 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 подається на модулятор М. З модулятора готовий радіоімпульсний сигнал подають на об'єкт контролю ОК. На першому етапі проводять вимірювання початкової фази радіоімпульсного сигналу, а на другому етапі визначають фазу вимірюваного сигналу. Радіоімпульсний сигнал через аналоговий мультіплексор АМХ, керований блоком обчислення БО, подають на вхід АЦП, який перетворює радіоімпульсний сигнал в цифрову форму, звідки його подають на блоки П₁ і П₂ з частотою сформованою блоком ПЧ2. Імпульси частоти дискретизації АЦП і зчитування постійних запам'ятовуючих пристроїв (ПЗП1, ПЗП2), в яких зберігають коди значень відповідно синуса та косинуса опорного сигналу вибирають із умови:

$$f_g = \frac{K}{T_n \cdot K \cdot P + T_0},$$

формують також з синхросигналів генератора Γ_0 шляхом поділення його частоти подільником частоти ПЧ2. При цьому коефіцієнт ділення блока подільника частоти ПЧ2 вибирають з формули: $k_1 = \frac{f_\Gamma}{f_g}$, де f_Γ - частота генератора Γ_0 , а f_g - частота сигналів

дискретизації АЦП, а частоту f_Γ вибирають рівною: $f_\Gamma = \frac{1}{\tau}$,

де $\tau = \frac{T_0}{K}$ - заданий період дискретизації радіоімпульсного заповнення. Блок формування

опорного сигналу складається із лічильника імпульсів ЛІ та двох ПЗП₁ і ПЗП₂. Коди з ПЗП₁ і ПЗП₂, в яких відповідно зберігають значення синусної та косинусної складових сигналу, синхронно з кодами вибірок АЦП подають на помножувачі цифрових сигналів відповідно П₁ і П₂. Цифрові помножувачі окремо виконують операції множення вибірок сигналу від АЦП на коди 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 та розраховують абсолютне значення фази радіосигналу φ_1 . 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 фільтрації отриманих сигналів та обчислення абсолютних значень фази і фазового зсуву отриманого вимірювального сигналу і розрахунку фазового часу затримки, виконує також функцію порогового фільтра. При цьому перший етап визначення початкової фази радіоімпульсного сигналу проводять одноразово в залежності від типу досліджуваного об'єкту контролю, тому що фаза випромінюваного сигналу синхронізована з частотою дискретизації АЦП фактично завжди фіксована і може змінюватись в невеликих межах від зміни типу об'єкту контролю, тобто вхідного реактивного опору. Результат вимірювання фіксують за допомогою цифрового відлікового пристрою ЦВП або комп'ютера ПК, за допомогою ПК можна також змінювати режими роботи пристрою виконувати додаткові функції по обробці та документуванню результатів вимірювання.

При цьому частота дискретизації АЦП, передачі даних па блоки П₁ і П₂ і роботи блока обчислення БО буде значно зменшена від частоти дискретизації радіоімпульсного заповнення, тобто від частоти генератора Γ_0 синхроімпульсів за допомогою ПЧ2, що значно зменшить вимоги до АЦП помножувачів П₁ і П₂ та блоку обчислення БО, а при високих частотах заповнення радіоімпульсів зробить можливим апаратну реалізацію такого методу вимірювання. Запропонований спосіб зниження і вибору частоти дискретизації АЦП і роботи БО дозволяє фактично виконувати стробоскопічне перетворення частоти і ортогональне цифрове вимірювання фазового часу проходження не тільки безперервних але і радіоімпульсних сигналів.

Наприклад дано:

1. Частота заповнення радіоімпульсного сигналу $f_0 = \frac{1}{T_0} - 10 \text{ МГц}$;

2. Частота посилок радіоімпульсів $f_{cn} = \frac{1}{T_n} - 1$ кГц ;

3. Число сходенок в вихідному віртуальному аналоговому сигналі, або число вибірок на період частоти заповнення радіоімпульсного сигналу
 $K - 10$.

5 Відомо що при стробоскопічному перетворенні частоти вхідного сигналу частота на виході перетворювача визначається згідно з виразом:

$$\Omega = f_0 - n \cdot f_g,$$

де n - ціле число показує через скільки періодів несучої частоти вхідного сигналу береться вибірка.

10 Оскільки в нашому випадку використовуються радіоімпульси сигнал несучої в яких присутній тільки під час появи радіоімпульсу, частота вибірок не може бути нижчою від частоти посилок радіоімпульсів, тобто

$$n_{min} = \frac{f_0}{f_{cn}}, \text{ якщо вибірку брати в кожному радіоімпульсі. Якщо вибірку брати в кожному}$$

другому, третьому.... Р-му то n буде визначатись з виразу: $n = n_{min} \cdot P$

15 Розраховуємо: $f_g = \frac{K}{T_n \cdot K + T_0} = \frac{10}{10^{-3} \cdot 10 + 10^{-7}} = \frac{1000}{1 + 10^{-5}} = 999,9900001$ Гц ;

при $P=1$; $f_0 = 10$ МГц,

$$n_{min} = \frac{f_0}{f_{cn}} = 10000;$$

$$\Omega = f_0 - n \cdot f_g = 99,999 \text{ Гц};$$

$$f_r = 10 f_0 - 100 \text{ МГц};$$

20 $k_i = \frac{f_r}{f_g} = \frac{1 \cdot 10^8}{99,99900001} = 100001;$

k_i - є ціле число, яке можна реалізувати в подільнику частоти ПЧ2.

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

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

25

Стробоскопічний спосіб для вимірювання часу проходження радіоімпульсних сигналів, що включає дискретизацію вимірюваного сигналу, його перетворення в цифровий код, формування від одного генератора (Γ_0) синхросигналів ω - частоти, тривалості T_i , періоду посилок T_n радіоімпульсного сигналу, і радіоімпульсний сигнал та вимірюваний сигнал подають на один вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП) для перетворення в цифровий код в два етапи:

30

на першому етапі на вхід АЦП одноразово подають радіоімпульсний сигнал для визначення його початкової фази; на другому етапі проводять визначення фази вимірюваного сигналу, який перевищує поріг чутливості, а час проходження радіоімпульсного сигналу обчислюють згідно з

$$\text{виразом: } \tau_\varphi = \frac{\varphi_e - \varphi_i}{\omega},$$

35

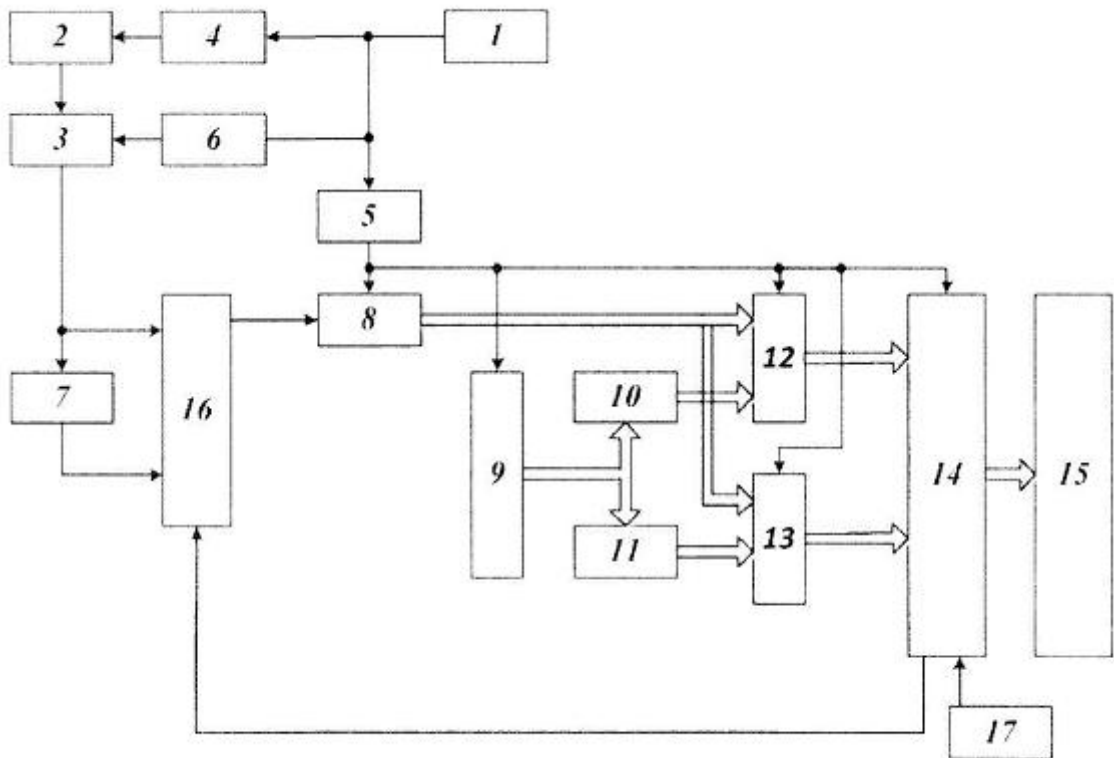
де φ_i - значення фази радіоімпульсного сигналу в межах від 0 до $2 \cdot \pi$; φ_e - абсолютне виміряне значення фази вимірюваного сигналу в межах від 0 до $2 \cdot \pi$ в момент часу, коли значення коду з АЦП перевищить поріг його виявлення, який **відрізняється** тим, що частоту сигналу дискретизації f_g АЦП і сигналів зчитування постійних запам'ятовуючих пристроїв (ПЗП1, ПЗП2),

40

в яких зберігають відповідно коди значень синуса та косинуса сигналу, формують з синхросигналів генератора Γ_0 шляхом ділення його частоти подільником частоти (ПЧ2) та

$$\text{вибирають відповідно до виразу: } f_g = \frac{K}{T_n \cdot K \cdot P + T_0},$$

де K - число вибірок у вимірювальному сигналі на період частоти заповнення радіоімпульсного сигналу після стробоскопічного перетворення на виході АЦП; $T_0 = 2\pi/\omega$ - період частоти радіоімпульсів; P - ціле число від 1, 2, 3 ..., яке вибирають в подільнику частоти (ПЧ2).



Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

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