



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **79534** (13) **U**  
(51) МПК (2013.01)  
**G04F 10/00**

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	<b>u 2012 12197</b>	(72) Винахідник(и):	<b>Баженов Віктор Григорович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки:	<b>24.10.2012</b>	(73) Власник(и):	<b>НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", просп. Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	<b>25.04.2013</b>		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	<b>25.04.2013, Бюл.№ 8</b>		

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

### (57) Реферат:

Стробоскопічний спосіб для вимірювання часу проходження радіоімпульсних сигналів включає дискретизацію вимірюваного сигналу, його перетворення в цифровий код і обчислення часу проходження радіоімпульсних сигналів. Частоту  $1/T_0$ , тривалість  $T_i$ ; період посилок  $T_n$  випромінюваного радіоімпульсного сигналу формують від одного генератора  $G_0$  синхросигналів. 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. Час

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

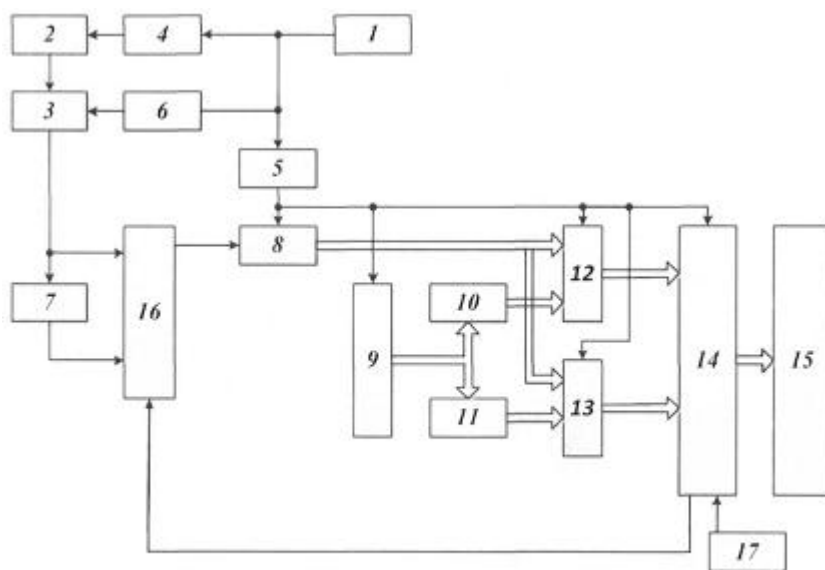
значення фази випромінюваного сигналу в межах від 0 до  $2\pi$ ;  $\varphi_e$  - абсолютне виміряне значення фази вимірюваного сигналу в межах від 0 до  $2\pi$  в момент часу, коли значення коду з АЦП перевищить поріг його виявлення;  $\omega$  - частота сигналу. Частоту сигналів дискретизації  $f_g$  аналого-цифрового перетворювача (АЦП) і зчитування постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП), в якому зберігають коди значень синуса та косинуса опорного сигналу, отримують

шляхом ділення частоти генератора синхросигналів і обирають рівною:  $f_g = \frac{K}{T_n \cdot K \cdot P + T_0}$ , де

$K$  - число віртуальних сходинок вихідного сигналу на його період після стробоскопічного перетворення на виході АЦП;

$P$  - ціле число від 1, 2, 3 ...

UA 79534 U



Фиг.

Корисна модель належить до галузі вимірювальної техніки і може бути використана 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 аналог 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:  $\tau_\phi = \frac{\phi_e - \phi_i}{\omega}$ , де  $\phi_i$  -

значення фази випромінюваного сигналу в межах від 0 до  $2\pi$ ;  $\phi_e$  - абсолютне виміряне значення фази вимірюваного сигналу в межах від 0 до  $2\pi$ . 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 корисної моделі 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  $1/T_0$ , 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:  $\tau_\phi = \frac{\phi_e - \phi_i}{\omega}$ , де  $\phi_i$  - значення фази випромінюваного сигналу в

межах від 0 до  $2\pi$ ;  $\phi_e$  - абсолютне виміряне значення фази вимірюваного сигналу в межах від 0 до  $2\pi$  в момент часу, коли значення коду з АЦП перевищить поріг його виявлення;  $\omega$  - частота сигналу, новим є те що частоту сигналів дискретизації  $f_d$  аналого-цифрового перетворювача (АЦП) і зчитування постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП), в якому зберігають коди значень синуса та косинуса опорного сигналу, отримують шляхом ділення частоти генератора синхросигналів і обирають рівною:

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

де  $K$  - число віртуальних сходинок вихідного сигналу на його період після стробоскопічного перетворення на виході АЦП;

$P$  - ціле число від 1, 2, 3 ...

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

Структурна схема містить:

(М) - модулятор, 4, 5 (ПЧ1, ПЧ2) - подільники частоти, 6 (СЧ) - синтезатор частоти, 7 (ОК) - об'єкт контролю, 8 (АЦП) - аналого-цифровий перетворювач, 9 (ЛП) - лічильник імпульсів, 10 (ПЗП<sub>1</sub>) і 11 (ПЗП<sub>2</sub>) - постійні запам'ятовуючі пристрої синусоїдального та косинусоїдального

сигналів відповідно, 12 ( $P_1$ ) і 13 ( $P_2$ ) - 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  $\Gamma_0$  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 випромінюючі 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 радіоімпульс подають на об'єкт контролю ОК. На першому етапі проводять вимірювання початкової фази випромінюваного сигналу, а на другому етапі - визначають фазу вимірюваного сигналу. Випромінюваний радіоімпульсний сигнал через аналоговий мультіплексор АМХ, керований блоком обчислення БО, подають на вхід АЦП, який перетворює випромінюваний радіоімпульсний сигнал в цифрову форму, звідки його подають на блоки  $P_1$  і  $P_2$  з частотою сформованою блоком ПЧ2. Імпульси частоти дискретизації АЦП і зчитування постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП<sub>1</sub>, ПЗП<sub>2</sub>), в якому 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  $\Gamma_0$  шляхом поділення його частоти подільником частоти ПЧ2. Причому коефіцієнт ділення блока подільника частоти ПЧ2

вибирають з формули:  $k_1 = \frac{f_{\Gamma}}{f_g}$ , де  $f_{\Gamma}$  - частота генератора  $\Gamma_0$ , а  $f_g$  - частота сигналів

дискретизації АЦП, а частоту  $f_{\Gamma}$  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 ПЗП<sub>1</sub> і ПЗП<sub>2</sub>. Коди з ПЗП<sub>1</sub> і ПЗП<sub>2</sub>, в яких відповідно зберігають значення синусної та косинусної складових випромінюваного сигналу, синхронно з кодами вибірок АЦП подають на помножувачі цифрових сигналів відповідно  $P_1$  і  $P_2$ . Цифрові помножувачі окремо виконують операції множення вибірок випромінюваного 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 випроміненого радіосигналу  $\phi_i$ . 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. Причому перший етап визначення початкової фази випромінюваного 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.

Причому частота дискретизації АЦП, передачі даних на блоки  $P_1$  і  $P_2$  і роботи блока обчислення БО буде значно зменшена від частоти дискретизації радіоімпульсного заповнення, тобто від частоти генератора  $\Gamma_0$  синхроімпульсів за допомогою ПЧ2, що значно зменшить вимоги до АЦП помножувачів  $P_1$  і  $P_2$  та блока 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 МГц;

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

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

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

10 
$$\Omega = f_0 - n \cdot f_g,$$

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

Оскільки в нашому випадку використовуються радіоімпульси сигналу несучої частоти, в яких присутній тільки під час появи радіоімпульсу, частота вибірок не може бути нижчою від частоти

15 посилок радіоімпульсів, тобто  $n_{\text{min}} = \frac{f_0}{f_{\text{сп}}}$ , якщо вибірку брати в кожному радіоімпульсі. Якщо вибірку брати в кожному другому, третьому.... Р-му то  $n$  буде визначатись з виразу:

$$n = n_{\text{min}} \cdot P$$

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

при  $P = 1$ ;  $f_0 = 10 \text{ МГц}$ ,

20 
$$n_{\text{min}} = \frac{f_0}{f_{\text{сп}}} = 10000;$$

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

$$f_r = 10 \cdot f_0 = 100 \text{ МГц};$$

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

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

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

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

30 Стробоскопічний спосіб для вимірювання часу проходження радіоімпульсних сигналів, що 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  $f_0$  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 35 подають випромінюваний радіоімпульс для визначення його початкової фази; на другому етапі проводять визначення фази вимірюваних сигналів, які перевищують поріг чутливості, а час

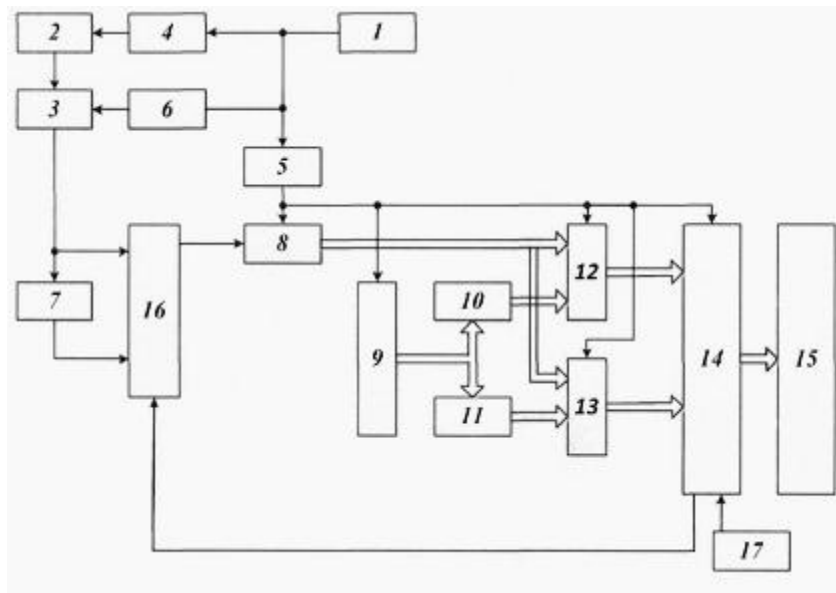
проходження радіоімпульсних сигналів обчислюють згідно з виразом:  $\tau_\varphi = \frac{\varphi_e - \varphi_i}{\omega}$ , де  $\varphi_i$  -

значення фази випромінюваного сигналу в межах від 0 до  $2\pi$ ;  $\varphi_e$  - абсолютне виміряне

40 значення фази вимірюваного сигналу в межах від 0 до  $2\pi$  в момент часу, коли значення коду з АЦП перевищить поріг його виявлення;  $\omega$  - частота сигналу, який **відрізняється** тим, що

частоту сигналів дискретизації  $f_g$  аналого-цифрового перетворювача (АЦП) і зчитування постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП), в якому зберігають коди значень синуса та косинуса опорного сигналу, отримують шляхом ділення частоти генератора синхросигналів і обирають рівною:  $f_g = \frac{K}{T_n \cdot K \cdot P + T_0}$ , де  $K$  - число віртуальних сходінок вихідного сигналу на

- 5 його період після стробоскопічного перетворення на виході АЦП;  
 $P$  - ціле число від 1, 2, 3 ... .




---

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

---

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