



УКРАЇНА

(19) UA (11) 47545 (13) U
(51) МПК
G01N 29/07 (2009.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ КОНТРОЛЮ ФАЗОВОЇ ШВИДКОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ

1

2

(21) u200908800

(22) 21.08.2009

(24) 10.02.2010

(46) 10.02.2010, Бюл.№ 3, 2010 р.

(72) БАЖЕНОВ ВІКТОР ГРИГОРОВИЧ, ЛІГОМІНА
СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, МИСЛИВЕЦЬ ЛЮДМИ-
ЛА ЮРІЇВНА(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИ-
ТУТ"(57) Спосіб контролю фазової швидкості ультра-
звукових (УЗ) коливань, який включає їх одночасне
збудження та випромінювання в об'єкт контролю
(ОК) у двох точках об'єкта на фіксованій дистанції
між ними, прийом УЗ коливань в третій точці, роз-
міщених на ОК на одній осі з точками випроміню-
вання УЗ коливань, вимірювання зсуву фаз УЗ
коливань у третій точці прийому на різних частотах
УЗ коливань в смузі пропускання каналу вимірю-
вання, при цьому фазову швидкість розраховуютьзгідно з виразом $v_{\Phi} = \frac{l}{\tau_{\Phi}}$, де l - значення фіксо-ваної відстані між датчиками, τ_{Φ} - фазовий час
затримки УЗ сигналів, який відрізняється тим, що
вимірювання фазового зсуву УЗ коливань почина-
ють виконувати на верхній частоті смуги пропус-кання каналу вимірювання ω_B , а кожне наступне
вимірювання виконують на частотах $(\omega_B - \Omega_i)$,
причому значення Ω_i вибирають із умови
 $\Omega_1 \cdot \tau_3 < 2 \cdot \pi$, а наступні значення Ω_i вибирають ізумови $E \left| \frac{\Delta \varphi_{i-1} \cdot \Omega_i}{\Omega_{i-1}} - \frac{\Delta \varphi_i}{2 \cdot \pi} + 0,5 \right| = 0$, де $E|b|$ - цілачастина значення b , $\Delta \varphi_{i-1}$ - максимальна похибка
визначення фазового зсуву на частоті $\Omega_1 (\Omega_{i-1})$, $\Delta \varphi_i$ - максимальна похибка визначення фазового
зсуву на частоті Ω_i , а значення фазового часу
затримки УЗ сигналів визначається як
 $\tau_{\Phi} = n \cdot 2 \cdot \pi + \frac{\varphi_B}{\omega_B}$, де кількість цілих фазових циклів n_i на частоті Ω_i рівна $n = n_i = E \left| \frac{\Omega_{i+1}}{\Omega_i} \cdot \left(n_{i-1} + \frac{\varphi_i}{2\pi} \right) - \frac{\varphi_{i+1}}{2\pi} + 0,5 \right|$, причому $\Omega_{i+1} = \omega_B$ і $\varphi_{i+1} = \varphi_B$, де φ_i , φ_B - значення фазо-
вих зсувів сигналу відповідно на частотах Ω_i та
 ω_B .Корисна модель належить до контролю фазо-
вої швидкості ультразвукових (УЗ) коливань в ма-
теріалах, конструкціях та об'єктах і може викорис-
товуватись для контролю фізичних властивостей
матеріалів (модуль Юнга та ін.), їх якості, неруйні-
вного контролю залишкового ресурсу різних виробів,
втоми та напруженості досліджуваних констру-
кцій.Найбільш близьким аналогом є спосіб вимірю-
вання фазової швидкості ультразвуку (див. патент
США 5154081, G01 №29/18). Даний аналог вклю-
чає одночасне збудження і випромінювання УЗ
коливань двома датчиками, закріпленими з фіксо-
ваною дистанцією та прийом УЗ коливань за до-
помогою третього датчика, розташованого на од-
ній осі з випромінюючими. Це дозволяє значно
компенсувати похибку вимірювання фазового зсу-ву, яка виникає внаслідок зміни зазору між датчи-
ком та об'єктом контролю при проведенні проце-
дури контролю. Визначення швидкості УЗ
коливань виконується за допомогою вимірювань
часу затримки в робочій смузі перетворювача на
декількох частотах. Для забезпечення прийнятної
точності вимірювання застосовується метод ліній-
ної регресії фазового спектру, за яким для кожної
окремої точки, отриманої в результаті вимірюван-
ня фазового зсуву УЗ коливань різних частот від
випромінюючих датчиків, проводять фазочастотну
характеристику (ФЧХ) через початок координат і
розраховують фазовий час затримки, після чого,
знаючи фіксовану відстань між випромінюючими
датчиками, розраховується фазова швидкість роз-повсюдження УЗ коливань: $v_{\Phi} = \frac{l}{\tau_{\Phi}}$, де l - зна-(13) U
(11) 47545
(19) UA

чення фіксованої відстані між датчиками, τ_{Φ} - фазовий час затримки УЗ сигналів. Головною вимогою для проведення такого контролю є дуже висока точність.

Недоліками найближчого аналогу є недостатня точність визначення фазової швидкості ультразвуку за рахунок нелінійності ФЧХ в смузі пропускання УЗ перетворювачів, низька точність вимірювання часового інтервалу, яка включає в себе похибку, що визначається періодом частоти заповнення і похибку формування часового інтервалу, що в значній мірі обумовлено обмеженими можливостями елементної бази.

В основу корисної моделі було покладено задачу підвищення точності визначення фазової швидкості ультразвуку шляхом багатоточкових вимірювань повного фазового зсуву $\Phi(f)$ УЗ сигналів.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі контролю фазової швидкості УЗ коливань, який включає їх одночасні збудження та випромінювання в об'єкт контролю (ОК) у двох точках об'єкта на фіксованій дистанції між ними, прийом УЗ коливань в третій точці, розміщеній на ОК на одній осі з точками випромінювання УЗ коливань, вимірювання зсуву фаз УЗ коливань у третій точці прийому на різних частотах УЗ коливань в смузі пропускання каналу вимірювання, фазова швид-

кість розраховується згідно виразу:

$$v_{\Phi} = \frac{l}{\tau_{\Phi}}, \text{ де } l$$

- значення фіксованої відстані між датчиками, τ_{Φ} - фазовий час затримки УЗ сигналів. Новим є те, що вимірювання фазового зсуву УЗ коливань починають виконувати на верхній частоті смуги пропускання каналу вимірювання $\omega_{\text{в}}$, а кожне наступне вимірювання виконують на частотах $(\omega_{\text{в}} - \Omega_i)$, причому значення Ω_1 , обирають із умови $\Omega_1 \cdot \tau_3 < 2 \cdot \pi$, а наступні значення Ω_1 , обирають із

умови
$$E \left| \frac{\Delta \varphi_{i-1} \cdot \Omega_i}{\Omega_{i-1}} - \frac{\Delta \varphi_i}{2 \cdot \pi} + 0.5 \right| = 0$$
, де $E|b|$ - ціла

частина значення b , $\Delta \varphi_{i-1}$ максимальна похибка визначення фазового зсуву на частоті $\Omega_1(\Omega_{i-1})$,

$\Delta \varphi_i$ - максимальна похибка визначення фазового зсуву на частоті Ω_1 , а значення фазового часу затримки УЗ сигналів визначають як

$$\tau_{\Phi} = n \cdot 2 \cdot \pi + \frac{\Phi_{\text{в}}}{\omega_{\text{в}}}$$
, де кількість цілих фазових циклів n_i , на частоті Ω_1 , рівна:

$$n = n_i = E \left| \frac{\Omega_{i+1}}{\Omega_i} \cdot \left(n_{i-1} + \frac{\varphi_i}{2\pi} \right) - \frac{\varphi_{i+1}}{2\pi} + 0.5 \right|$$
, причому

$\Omega_{i+1} = \omega_{\text{в}}$ і $\varphi_{i+1} = \Phi_{\text{в}}$, де φ_i , $\Phi_{\text{в}}$ - значення фазових зсувів сигналу відповідно на частотах Ω_1 , та $\omega_{\text{в}}$.

Сутність корисної моделі полягає в тому, що перше вимірювання фазового зсуву $\Phi_{\text{в}}$ виконується на верхній частоті $\omega_{\text{в}}$ полоси пропускання, де повний фазовий зсув визначається, як:

$$\Phi_1 = \omega_{\text{в}} \cdot \tau_{\Phi} = 2 \cdot \pi \cdot n + \Phi_{\text{в}}$$
. Потім вимірюється фазовий зсув Φ_{Ω_1} на частоті $(\omega_{\text{в}} - \Omega_1)$, а повний фазовий зсув сигналу визначається, як

$$\Phi_2 = (\omega_{\text{в}} - \Omega_1) \cdot \tau_{\Phi} = 2 \cdot \pi \cdot n_1 + \Phi_{\Omega_1}$$
. Таким чином, значення фазового зсуву Φ_1 на частоті Ω_1 , яку

вибирають із умови однозначності $\Omega_1 \cdot \tau_{\Phi} = 2 \cdot \pi$, буде визначатись за виразом:

$$\Phi_{\Omega_1} = \Phi_1 - \Phi_2 = \Omega_1 \cdot \tau_{\Phi} = \varphi_1$$
, де φ_1 - розраховане значення фазового зсуву на частоті Ω_1 . Аналогічно далі проводимо вимірювання фазового зсуву

сигналу Φ_{Ω_2} на наступній частоті $(\omega_{\text{в}} - \Omega_2)$, де повний фазовий зсув буде визначатись, як:

$$\Phi_3 = (\omega_{\text{в}} - \Omega_2) \cdot \tau_{\Phi} = 2 \cdot \pi \cdot n_2 + \Phi_{\Omega_2}$$
, тому можна визначити фазовий зсув на частоті Ω_2 :

$$\Phi_{\Omega_2} = \Phi_1 - \Phi_3 = (\omega_{\text{в}} \cdot \tau_{\Phi}) - (\omega_{\text{в}} - \Omega_2) \cdot \tau_{\Phi} = \Omega_2 \cdot \tau_{\Phi} = \varphi_2$$
. Потім вимірюємо наступне значення фазового зсуву сигналу Φ_{Ω_3} на частоті $(\omega_{\text{в}} - \Omega_3)$, де повний фазовий зсув буде визначатись, як:

$$\Phi_4 = (\omega_{\text{в}} - \Omega_3) \cdot \tau_{\Phi} = 2 \cdot \pi \cdot n_3 + \Phi_{\Omega_3}$$
, а розраховане значення фазового зсуву на частоті Ω_3 визначається за виразом:

$$\Phi_{\Omega_3} = \Phi_1 - \Phi_4 = (\omega_{\text{в}} \cdot \tau_{\Phi}) - (\omega_{\text{в}} - \Omega_3) \cdot \tau_{\Phi} = \Omega_3 \cdot \tau_{\Phi} = \varphi_3$$

і т. д..

При здійсненні способу розраховується повний фазовий зсув УЗ сигналів $\Phi_{\text{в}}$ на верхній частоті:

$$\Phi_{\text{в}} = 2 \cdot \pi \cdot n + \Phi_{\text{в}}$$
, а з результатів вимірювань на проміжних частотах в смузі пропускання УЗ перетворювачів, розрахованих згідно запропонованої

формули:

$$n = n_i = E \left| \frac{\Omega_{i+1}}{\Omega_i} \cdot \left(n_{i-1} + \frac{\varphi_i}{2\pi} \right) - \frac{\varphi_{i+1}}{2\pi} + 0.5 \right|$$
,

значення повного фазового зсуву уточнюється.

Забезпечення точності вимірювання фазового часу затримки УЗ коливань τ_{Φ} буде визначатись результатом вимірювання на верхній частоті:

$$\Delta \tau_{\Phi} = \frac{\Delta \varphi_{\text{в}}}{\omega_{\text{в}}}$$
, де $\Delta \varphi_{\text{в}}$ - максимальне значення похибки фазометра, $\omega_{\text{в}}$ - верхня частота вимірювання, який буде самим точним тому, що при похибці

вимірювання фазометра $\Delta \varphi_{\text{в}} = 0,1^\circ$, на частоті 10 МГц, одержують точність

$$\Delta \tau_{\Phi} = \frac{100 \text{ нс}}{3600} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ с}$$

. Вимірювання виконуються у діапазоні 0...360° за допомогою фазометру.

