

Винахід відноситься до вимірювальної техніки та може бути використаний для контролю відстані до межі поділу двох середовищ по різниці фаз зонduючих та відбитих ультразвукових коливань, переважно контролю відстані до об'єктів у повітряному середовищі, товщини шарів двошарових виробів при однобічному доступі до об'єкту, що контролюється.

Відомий пристрій для контролю відстані до межі поділу середовищ (див. Бражников Н.И. Ультразвуковая фазометрия. - М.: Энергия, 1968, С.91-92), який містить генератор електричних коливань, електроакустичні випромінювач та приймач ультразвукових коливань з заданою акустичною базою, електронний фазометр, один вхід якого з'єднаний з виходом генератора електричних коливань, а другий вхід фазометра з'єднаний з виходом електроакустичного приймача.

Недоліком пристрою є низька точність контролю відстані до межі поділу середовищ, що обумовлено непостійністю швидкості розповсюдження ультразвукових коливань у середовищі до межі поділу.

Відомий також пристрій для контролю відстані до межі поділу середовищ, описаний в патенті України №38265 А, МПК G 01 B17/00, 2001 р., що містить генератор електричних коливань регульованої частоти, перші електроакустичні випромінювач та приймач з однією акустичною базою, другі електроакустичні випромінювач та приймач з іншою акустичною базою, широкосмуговий підсилювач та цифровий частотомір. Крім того, відомий пристрій містить два перемикача з ручним керуванням та цифровий фазометр, один вхід якого з'єднаний з виходом генератора електричних коливань регульованої частоти, другий вхід через широкосмуговий підсилювач та перший перемикач з'єднаний з виходом електроакустичного приймача, другий перемикач по чергово з'єднує входи електроакустичних випромінювачів з генератором електричних коливань регульованої частоти.

У цьому пристрої виключений вплив непостійності швидкості розповсюдження ультразвукових коливань у середовищі, що контролюється, на результати контролю відстані до межі поділу середовищ. Однак, відстань до межі поділу середовищ визначають після виконання низки ручних переключень та настроювань, які направлені на переключення відносно генератора електричних коливань регульованої частоти електроакустичних випромінювачів та приймачів з різними акустичними базами та перебудови частоти генератора електричних коливань. Ручні операції збільшують час вимірювання відстані до межі поділу середовищ та знижують точність та швидкодію пристрою.

В основу винаходу покладена задача створення такого пристрою для контролю відстані до межі поділу двох середовищ, у якому введення нових елементів та зв'язків між ними дозволило б повністю автоматизувати процес контролю, що забезпечує підвищення точності та швидкодії пристрою.

Поставлена задача вирішується тим, що у пристрій для контролю відстані до межі поділу середовищ, що містить генератор електричних коливань регульованої частоти, перші електроакустичні випромінювач та приймач з однією акустичною базою, другі електроакустичні випромінювач та приймач з іншою акустичною базою, широкосмуговий підсилювач та цифровий частотомір, згідно винаходу, введені другий генератор електричних коливань регульованої частоти, фазовий детектор, суматор, підсилювач перемінної напруги, підсилювач постійної напруги, фазочутливий випрямляч, два фільтри нижніх частот, мультивібратор та чотири автоматичних ключа, перший з яких з'єднує вихід першого генератора електричних коливань регульованої частоти з входом першого електроакустичного випромінювача, другий ключ з'єднує вихід другого генератора електричних коливань регульованої частоти з входом другого електроакустичного випромінювача, третій та четвертий ключі з'єднують виходи електроакустичних приймачів з входом широкосмугового підсилювача, до виходу якого підключений сигнальний вхід фазового детектора, опорний вхід якого через суматор з'єднаний з входами електроакустичних випромінювачів, до виходу фазового детектора підключені послідовно з'єднані підсилювач перемінної напруги, фазочутливий випрямляч та перший фільтр нижніх частот, вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого генератора електричних коливань регульованої частоти, до виходу фазового детектора також підключені послідовно з'єднані другий фільтр нижніх частот та підсилювач постійної напруги, вихід якого з'єднаний з керуючим входом другого генератора електричних коливань регульованої частоти, керуючі входи першого та третього ключів підключені до одного виходу мультивібратора, керуючі входи другого та четвертого ключів підключені до іншого виходу мультивібратора, керуючі входи фазочутливого випрямляча підключені до виходів мультивібратора, а входи цифрового частотоміра з'єднані відповідно з виходами першого та другого генераторів електричних коливань регульованої частоти.

Введення в пристрій другого генератора електричних коливань регульованої частоти, фазового детектора, суматора, підсилювача перемінної напруги, підсилювача постійної напруги, фазочутливого випрямляча, двох фільтрів нижніх частот, мультивібратора та чотирьох автоматичних ключів, включених вказаним чином, дозволяють при протифазній роботі двох пар ключів у ланцюгах випромінювачів та приймачів ультразвукових коливань сформулювати на виході фазового детектора часову послідовність прямокутних імпульсів, амплітуди яких пропорційні різниці фаз ультразвукових коливань, що випромінюються та приймаються, при першій та другій акустичній базі, виділити перемінну та постійну складові напруги, які після підсилення та відповідної фільтрації використовуються для автоматичної настройки частоти електричних коливань, які генерують два генератора, що перебудовуються по частоті, по значенням яких цифровим мікропроцесорним частотоміром розраховується відстань до межі поділу середовищ, що забезпечує підвищення точності та швидкодії пристрою.

На кресленні (див. Фіг.) подана структурна схема пристрою для контролю відстані до межі поділу середовищ.

Пристрій містить генератори 1 та 2 електричних коливань регульованої частоти, пару автоматичних ключів 3 та 4, електроакустичні випромінювачі 5 та 6, електроакустичні приймачі 7 та 8, другу пару автоматичних ключів 9 та 10, широкосмуговий підсилювач напруги 11, фазовий детектор 12, суматор 13, мультивібратор 14, підсилювач перемінної напруги 15, фазочутливий випрямляч 16, фільтри 17 та 18 нижніх частот, підсилювач постійної напруги 19 та цифровий мікропроцесорний частотомір 20.

Позиціями 21 та 22 на кресленні позначені середовища, відстань L до межі поділу яких контролюється. Акустичні бази випромінювачів та приймачів позначені як S_1 та S_2 .

Генератори 1 та 2 електричних коливань регульованої частоти через автоматичні ключі 3 та 4 з'єднані з електроакустичними випромінювачами 5 та 6. Електроакустичні приймачі 7 та 8 через автоматичні ключі 9 та 10 з'єднані з входом широкосмугового підсилювача напруги 11. До виходу широкосмугового підсилювача напруги 11

сигнальним входом підключений фазовий детектор 12, опорний вхід якого через суматор 13 з'єднаний з входами електроакустичних випромінювачів 5 та 6. До виходу фазового детектора 12 підключені послідовно з'єднані підсилювач перемінної напруги 15, фазочутливий випрямляч 16 та фільтр 17 нижніх частот. До виходу фазового детектора 12 також підключені послідовно з'єднані фільтр 18 нижніх частот та підсилювач постійної напруги 19. Керуючі входи автоматичних ключів 3 та 10 підключені до одного виходу мультівібратора 14, а керуючі входи автоматичних ключів 4 та 9 підключені до другого виходу мультівібратора 14. Керуючі входи фазочутливого випрямляча 16 підключені до виходів мультівібратора 14. Входи мікропроцесорного частотоміра 20 з'єднані з виходами генераторів 1 та 2 електричних коливань регульованої частоти, керуючі входи яких з'єднані з виходом фільтра 17 нижніх частот та підсилювача постійної напруги 19 відповідно.

Пристрій для контролю відстані до межі поділу середовищ працює наступним чином. Напруги генераторів 1 та 2 електричних коливань регульованої частоти через автоматичні ключі 3 та 4 по чергово збуджують електроакустичні випромінювачі 5 та 6, які перетворюють електричні коливання у зондуючі ультразвукові коливання, що розповсюджуються у середовищі 21 до межі поділу середовищ 21 та 22. Відбиті від межі поділу середовищ 21 та 22 ультразвукові коливання приймаються електроакустичними приймачами 7 та 8, які зсунуті відносно випромінювачів 5 та 6 на відомі відстані S_1 та S_2 (акустичні бази). Прийняті ультразвукові коливання перетворюються в електричні, які через автоматичні ключі 9 та 10 по чергово надходять на вхід широкосмугового підсилювача напруги 11. Підсилені коливання по чергово порівнюються по фазі у фазовому детекторі 12 з електричними коливаннями генераторів 1 та 2 електричних коливань регульованої частоти. Для цього на опорний вхід фазового детектора 12 по чергово надходять напруги з виходів автоматичних ключів 3 та 4 через суматор 13.

При замкнутих автоматичних ключах 3 та 10 на сигнальний та опорний входи фазового детектора 12 надходять напруги частоти f_1 з виходу електроакустичного приймача 7 через широкосмуговий підсилювач напруги 11 та з виходу генератора 1 електричних коливань регульованої частоти відповідно. Повна різниця фаз $\Delta\Phi_1$ напруг, що порівнюються, при швидкості розповсюдження ультразвукових коливань c у середовищі розповсюдження та довжині ультразвукової хвилі $\lambda = c / f_1$ (якщо вона менша, ніж відстань L , що контролюється), визначається виразом:

$$\Delta\Phi_1 = 2\pi f_1 \frac{2\sqrt{L^2 + (S_1/2)^2}}{c} = 2\pi(n + \alpha_1) \quad (1)$$

де S_1 - акустична база електроакустичних випромінювача 6 та приймача 7.

n - ціла кількість фазових циклів (довжин хвиль) у $2\pi(360^\circ)$;

α_1 - дрібна частина останнього фазового циклу.

Так як фазовий детектор перетворює різницю фаз напруг, що порівнюються, тільки у межах $2\pi(360^\circ)$, то вихідний сигнал фазового детектора 12 буде пропорційним дрібній частині повної різниці фаз $\Delta\Phi_1$:

$$\Delta\Phi_1 = 2\pi f_1 \frac{2\sqrt{L^2 + (S_1/2)^2}}{c} - 2\pi n \quad (2)$$

При розмиканні автоматичних ключів 3, 10 та замиканні автоматичних ключів 4, 9 напругою генератора 2 електричних коливань регульованої частоти f_2 збуджується електроакустичний випромінювач 5 та відбиті від межі поділу середовищ 21 та 22 ультразвукові коливання приймаються електроакустичним приймачем 8. У фазовому детекторі 12 відбувається порівняння фаз прийнятих коливань з фазою коливань, що випромінюються, при акустичній базі S_2 . Акустична база S_2 вибирається більшою, ніж акустична база S_1 ($S_2 > S_1$) з умови, щоб повна різниця фаз

$$\Delta\Phi_2 = 2\pi f_2 \frac{2\sqrt{L^2 + (S_2/2)^2}}{c} = 2\pi(n + \alpha_2) \quad (3)$$

де α_2 - дрібна частина останнього фазового циклу, відрізнялась від повної різниці фаз $\Delta\Phi_1$ на величину, меншу, ніж $2\pi(360^\circ)$. Так як при цьому не змінюється ціла кількість фазових циклів n , то вихідний сигнал фазового детектора 12 має вигляд:

$$\Delta\Phi_2 = 2\pi f_2 \frac{2\sqrt{L^2 + (S_2/2)^2}}{c} - 2\pi n \quad (4)$$

Роботою автоматичних ключів 3, 4 та 9, 10 керує мультівібратор 14, який генерує на своїх виходах прямокутні напруги протилежних фаз. Частоту F переключень мультівібратора 14 вибирають значно меншою, ніж частоти генераторів 1 та 2 електричних коливань регульованої частоти ($F \ll f_2$, $F \ll f_1$). При такому режимі переключення автоматичних ключів 4, 9 та 3, 10 ультразвукові коливання формуються у вигляді пакетів коливань частот f_1 та f_2 тривалістю Δt у полуперіод вихідної прямокутної напруги мультівібратора 14 ($\Delta t = 1/2F$). Вихідні сигнали фазового детектора 12 мають форму прямокутних імпульсів тривалістю Δt з амплітудами, пропорційними $\Delta\Phi_1$ та $\Delta\Phi_2$.

У початковий момент роботи пристрою при початкових значеннях частот f_1 та f_2 генераторів 1 та 2 електричних коливань регульованої частоти амплітуди імпульсів на виході фазового детектора 12 не однакові ($\Delta\Phi_1 \neq \Delta\Phi_2$). Тому у вихідному сигналі фазового детектора 12 присутня перемінна складова напруги з амплітудою

$$U_1 = A \frac{\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2}{2}, \quad (5)$$

та постійна складова напруги

$$U_2 = A \frac{\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2}{2}, \quad (6)$$

де A - крутизна перетворення фази у напругу (В/радіан).

Перемінна складова напруги U_1 підсилюється підсилювачем перемінної напруги 15 та випрямляється фазочутливим випрямлячем 16, який керується вихідною напругою мультівібратора 14. Випрямлена напруга згладжується фільтром 17 нижніх частот та подається на керуючий вхід генератора 1 електричних коливань регульованої частоти. Під впливом керуючої напруги змінюється частота f_1 .

Постійна складова напруги U_2 виділяється з послідовності імпульсів фільтром 18 нижніх частот, підсилюється підсилювачем постійної напруги 19 та впливає на керуючий вхід генератора 2 електричних коливань регульованої частоти. Під впливом керуючої напруги змінюється частота f_2 .

Напрямок регулювання частот генераторів 1 та 2 електричних коливань регульованої частоти вибирається таким, щоб перемінна та постійна складові напруги прямували до нуля. В усталеному режимі $U_1=0$ та $U_2=0$. При цьому виконується умова

$$\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_2 = 0. \quad (7)$$

Якщо підставити у вираз (7) вирази (2) та (4), то отримаємо

$$f_{1y} \sqrt{L + (S_1/2)^2} = f_{2y} \sqrt{L^2 + (S_2/2)^2} \quad (8)$$

де f_{1y} та f_{2y} - усталені значення частот генераторів 1 та 2 електричних коливань регульованої частоти.

З виразу (8) можна визначити значення відстані L :

$$L = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{f_{2y}^2 S_2^2 - f_{1y}^2 S_1^2}{f_{1y}^2 - f_{2y}^2}}, \quad (9)$$

Напруги f_{1y} та f_{2y} генераторів 1 та 2 електричних коливань регульованої частоти поступають на входи мікропроцесорного частотоміра 20, який запрограмований на обробку частотних сигналів за виразом (9). При цьому значення акустичних баз S_1 та S_2 вводяться у пам'ять мікропроцесорного частотоміра 20 у вигляді констант. Результат контролю відображається на цифровому табло мікропроцесорного частотоміра 20 та у цифровому вигляді може бути використаний для запису результатів контролю або створення системи автоматичного регулювання.

Як видно з виразу (9) результат контролю відстані L до межі поділу двох середовищ не залежить від швидкості c розповсюдження ультразвукових коливань, а відповідно, і від температури, щільності та в'язкості середовища розповсюдження. Результат контролю отримується автоматично та не потребує ручного настроювання частоти генераторів зондуючих коливань. При цьому нестабільність крутизни перетворення фазового детектора, а також дрейф його нуля не впливають на результат контролю внаслідок того, що при роботі пристрою вихідний сигнал фазового детектора безперервно прямує до нуля. Похибка мікропроцесорного частотоміра не перевищує 0,01%, що забезпечує високоточний контроль відстані до межі поділу середовищ.

У якості приклада розглянемо контроль відстані $L=0,6$ м до поверхні твердого тіла у повітряному середовищі ($c=330$ м/с) ультразвуковими коливаннями з початковими частотами $f_1=f_2=40000$ Гц. При цьому акустичні бази складали $S_1=0,02$ м та $S_2=0,04$ м.

Тоді

$$\Delta\varphi_1 = 2\pi \cdot 40000 \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{(0,6)^2 + (0,02)^2}}{330} = 2\pi \cdot 145,532 \text{ радіан}$$

Для виконання умови $\Delta\varphi_1 = 0$ усталене значення частоти генератора 1 у результаті перебудови частоти складає $f_{1y}=39852,87$ Гц.

При зміні акустичної бази з 0,02 м до 0,04 м

$$\Delta\varphi_2 = 2\pi \cdot 40000 \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{(0,6)^2 + (0,04)^2}}{330} = 2\pi \cdot 145,776 \text{ радіан}$$

Для виконання умови $\Delta\varphi_2 = 0$ усталене значення частоти генератора 2 у результаті перебудови частоти складає $f_{2y}=39786,69$ Гц.

Таким чином перебудова частоти відбувається у досить вузькому частотному діапазоні, а результат контролю отримується за допомогою мікропроцесорного частотоміра, який має високу точність. Це забезпечує підвищення точності (похибка не перевищує 0,2-0,4%) та швидкодії пристрою для контролю відстані до межі поділу середовищ.

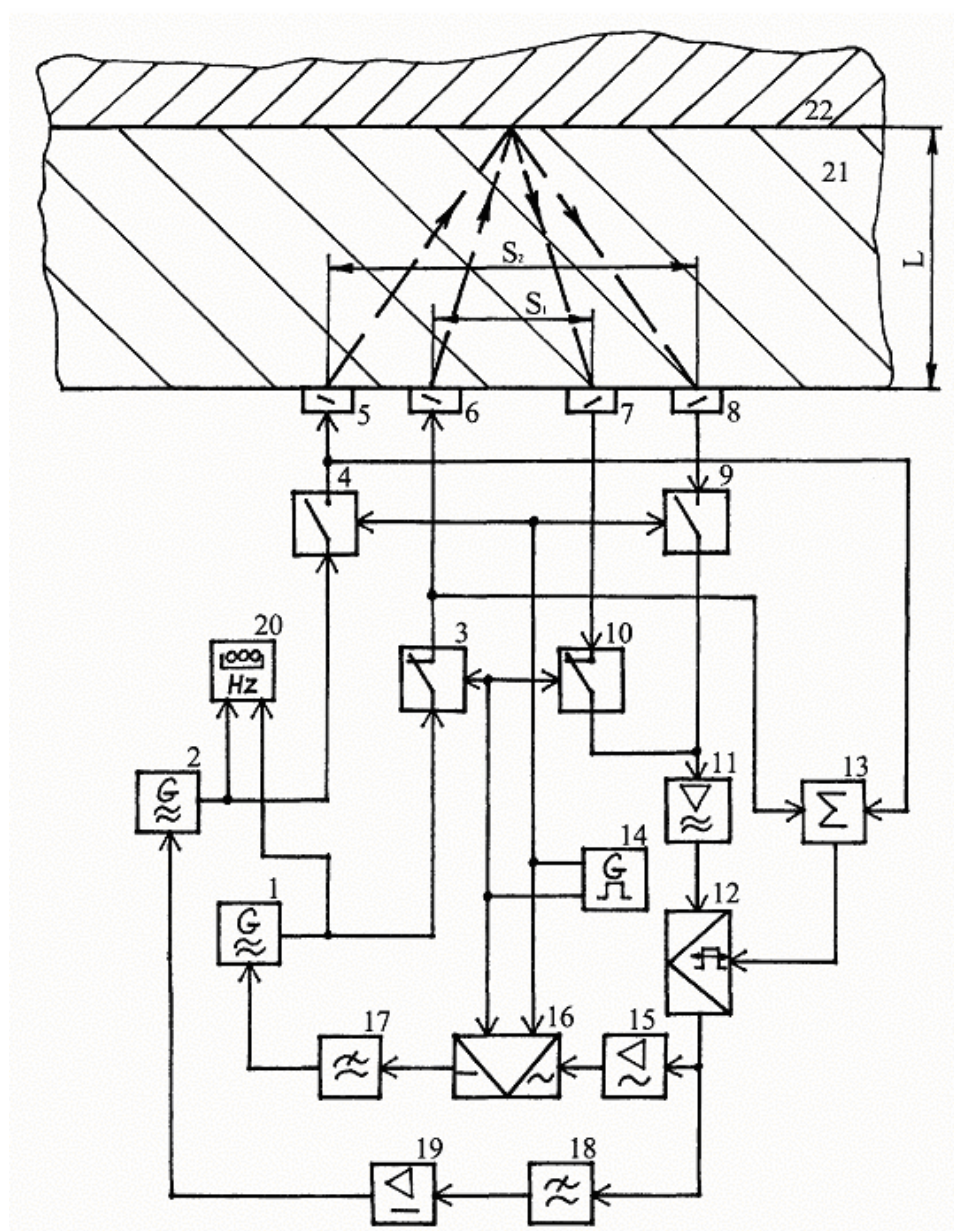


Fig.