

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ШВИДКОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ КОЛИВАНЬ ВІД ЇХ ІНТЕНСИВНОСТІ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

(21) 98052678

(22) 22 05 1998

(24) 15 03 2001

(46) 15 03 2001, Бюл. № 2, 2001 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Лісовець Сергій
Миколайович(73) ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЛЕГКОЇ ПРОМИС-
ЛОВОСТІ УКРАЇНИ

(57) 1 Спосіб визначення залежності швидкості розповсюдження акустичних коливань від їх інтенсивності, який полягає в тому, що генерують електричні коливання, формують з них пакети електричних зондуючих коливань, які перетворюють в пакети акустичних зондуючих коливань, що випромінюють в досліджуване середовище, приймають пакети акустичних зондуючих коливань, що пройшли середовище, та перетворюють їх в пакети прийнятих електричних зондуючих коливань, порівнюють по фазі пакети прийнятих зондуючих електричних коливань з генерованими, виділяють постійну і змінну складові, які зменшують до досягнення ними нульового значення, і визначають залежність швидкості розповсюдження акустичних коливань за формулою, при цьому зондування середовища здійснюють декілька разів при послідовному підвищенні амплітуди, який відрізняється тим, що додатково генерують електричні опорні коливання, які мають постійну амплітуду, перетворюють їх в акустичні і випромінюють в досліджуване середовище по черзі з зондуючими коливаннями, виділяють постійну складову при порівнянні по фазі прийнятих електричних опорних коливань з генерованими електричними опорними коливаннями, виділяють змінну складову при порівнянні по фазі прийнятих електричних зондуючих коливань з генерованими електричними зондуючими коливаннями, нульове значення постійної складової досягають змінням частоти генерованих електричних опорних коливань, нульове значення змінної складової досягають змінням частоти генерованих електричних зондуючих коливань, а залежність швидкості розповсюдження акустичних коливань Δc визначають за формулою

$$\Delta c = \frac{f_1' - f_2'}{f_2} c_0,$$

де f_1' – частота генерованих електричних зондуючих коливань, f_2' – частота генерованих електричних опорних коливань, c_0 – швидкість розповсюдження акустичних коливань малої інтенсивності

2 Пристрій для визначення залежності швидкості розповсюдження акустичних коливань від їх інтенсивності, який містить генератор зондуючих коливань, трансформатор, автоматичний перемикач, електроакустичний випромінювач, електроакустичний приймач, фазовий детектор, перший фільтр нижніх частот, фільтр верхніх частот, широкосмуговий підсилювач, фазочутливий випрямляч, при цьому вихід генератора зондуючих коливань з'єднаний із входом трансформатора, до виходу автоматичного перемикача послідовно приєднані електроакустичний випромінювач і електроакустичний приймач, який відрізняється тим, що він додатково містить комутатор, перший і другий підсилювач-обмежувачі, підсилювач постійної напруги, підсилювач змінної напруги, генератор опорних коливань, балансний змішувач, другий фільтр нижніх частот, цифровий частотомір, мультівібратор, цифровий вольтметр, при цьому вихід трансформатора через комутатор з'єднаний з першим входом автоматичного перемикача, електроакустичний приймач через перший підсилювач-обмежувач з'єднаний з першим входом фазового детектора, вихід автоматичного перемикача через другий підсилювач-обмежувач з'єднаний із другим входом фазового детектора, до виходу фазового детектора приєднаний широкосмуговий підсилювач, до виходу широкосмугового підсилювача послідовно приєднані перший фільтр нижніх частот, підсилювач постійної напруги і керуючий вхід генератора опорних коливань до виходу широкосмугового підсилювача також послідовно приєднані фільтр верхніх частот, підсилювач змінної напруги, фазочутливий випрямляч і керуючий вхід генератора зондуючих коливань, до виходу трансформатора послідовно приєднані перший вхід балансного змішувача, другий фільтр нижніх частот і перший вхід цифрового частотоміра, вихід генератора опорних коливань з'єднаний із другим входом цифрового частотоміра, другим входом баланс-

ного змішувача і другим входом автоматичного перемикача, до першого входу автоматичного перемикача приєднаний цифровий вольтметр, до

виходу мультівібратора приєднані керуючі входи автоматичного перемикача і фазочутливого випрямляча.

Винахід відноситься до області акустичних вимірювань і може бути використаний для визначення залежності швидкості розповсюдження акустичних коливань від їх інтенсивності в середовищах з різним ступенем нелінійності.

Відомий спосіб визначення залежності швидкості розповсюдження акустичних коливань від їх інтенсивності [Бражников Н.И. Ультразвуковая фазометрия. – М.: Энергия, 1968 – С. 83–87], який полягає в тому, що генерують електричні коливання, розділяють їх на опорні і зондуючі, перетворюють електричні зондуючі коливання в акустичні і випромінюють їх в досліджуєме середовище, приймають пройшовші його акустичні зондуючі коливання, перетворюють їх в електричні, вимірюють різницю фаз між прийнятими електричними зондуючими коливаннями і електричними опорними коливаннями і визначають швидкість розповсюдження акустичних коливань c за формулою $c = \omega L / \varphi$, де ω – кутова частота електричних коливань; L – акустична база; φ – вимірюєма різниця фаз порівнюємих коливань.

Вимірювання різниці фаз між електричними опорними коливаннями і прийнятими електричними зондуючими коливаннями виконують при послідовному підвищенні інтенсивності електричних зондуючих коливань. При цьому виникають великі амплітудно-фазові спотворення, які пов'язані з нерівністю амплітуд порівнюємих по фазі коливань. Значення таких спотворень порівняно з інформативними змінами різниці фаз в залежності від нелінійності середовища. В компенсаційних фазовимірювальних схемах нерівність амплітуд порівнюємих коливань визиває неконтролюємий відхід "нуля" схеми порівняння, що не дозволяє виявляти і вимірювати малі зміни різниці фаз. Тому даний спосіб не завжди може забезпечити необхідну точність вимірювання.

Відомий також спосіб визначення залежності швидкості розповсюдження акустичних коливань від їх інтенсивності [патент України № 13404А, 1996 р.], який полягає в тому, що генерують електричні коливання, формують з них пакети електричних зондуючих коливань, які перетворюють в пакети акустичних зондуючих коливань, що випромінюють в досліджуєме середовище, приймають пройшовші середовище пакети акустичних зондуючих коливань, перетворюють їх в пакети прийнятих електричних зондуючих коливань, порівнюють по фазі пакети прийнятих зондуючих електричних коливань з генерованими, виділяють постійну і змінну складові, які зменшують до досягнення ними нульового значення, і визначають залежність швидкості розповсюдження акустичних коливань за формулою вище згаданою, при цьому зондування середовища здійснюють декілька разів при послідовному підвищенні амплітуди. Крім того, виділяють з генерованих електричних коливань електричні опорні коливан-

ня, амплітуду більшого з пакетів прийнятих електричних зондуючих коливань зменшують в задану співвідношенням амплітуд пакетів кількість разів, змінюють фазу електричних опорних коливань до досягнення постійною складовою напруги нульового значення, змінюють фазу більшого з пакетів генерованих електричних зондуючих коливань до досягнення змінною складовою напруги нульового значення, змінюють швидкість розповсюдження акустичних коливань Δc визначають за формулою $\Delta c = \omega L \varphi / \varphi_0^2$, де ω – кутова частота електричних коливань; L – шлях проходження акустичних коливань; φ – фаза генерованих електричних зондуючих коливань; φ_0 – фаза електричних опорних коливань.

Підстройка вручну одночасно двох фазообертачів в кожному циклі вимірювання збільшує час вимірювання і є трудомісткою і незручною операцією. Зчитування одночасно показань двох вольтметрів і необхідність виконання розрахунків за допомогою приведеної вище формули також збільшує час вимірювання і є трудомісткою і незручною операцією. Підстройка вручну двох фазообертачів включає в себе суб'єктивний фактор, коли оператор може встановити неправильний фазовий зсув, що приведе до додаткової похибки при вимірюванні. Тому даний спосіб не завжди може забезпечити необхідну точність вимірювання.

Відомий пристрій для визначення залежності швидкості розповсюдження акустичних коливань від їх інтенсивності [Поляков В.Е., Потапов А.И., Сборовский А.К. Ультразвуковой контроль качества конструкций. – Л.: Судостроение, 1978. – С. 153–155], який містить генератор електричних коливань, до виходу якого послідовно приєднані трансформатор, електроакустичний випромінювач, електроакустичний приймач, попередній підсилювач, фазообертач і перший вхід фазового детектора, вихід фазового детектора через фільтр нижніх частот приєднаний до індикатора, вихід генератора електричних коливань приєднаний до другого входу фазового детектора. Крім того, пристрій містить висковольтний випрямляч, приєднаний до вторинної обмотки трансформатора, електричний екран, розміщений між електроакустичним випромінювачем і електроакустичним приймачем, осцилограф і телевізійний пристрій.

Наявність фазового детектора приводить до утворення великих амплітудно-фазових спотворень за рахунок того, що амплітуди електричних коливань на його входах можуть відрізнятися в декілька разів. Тому даний пристрій не завжди може забезпечити необхідну точність вимірювання.

Відомий також пристрій для визначення залежності швидкості розповсюдження акустичних

коливань від їх інтенсивності [патент України № 13404А, 1996 р.], який містить генератор зондуючих коливань, трансформатор, автоматичний перемикач, електроакустичний випромінювач, електроакустичний приймач, фазовий детектор, перший фільтр нижніх частот, фільтр верхніх частот, широкосмуговий підсилювач, фазочутливий випрямляч, при цьому вихід генератора зондуючих коливань з'єднаний із входом трансформатора, до виходу автоматичного перемикача послідовно приєднані електроакустичний випромінювач і електроакустичний приймач. Крім цього, пристрій містить перший і другий дільники напруги, перший і другий фазообертачі, другий автоматичний перемикач, дільник частоти, перший і другий індикатори, вихід трансформатора приєднаний до другого входу першого автоматичного перемикача через перший фазообертач, вихід трансформатора також приєднаний до першого входу першого автоматичного перемикача через перший дільник напруги, перший вихід другого автоматичного перемикача приєднаний до входу широкосмугового підсилювача через другий дільник напруги, другий вихід другого автоматичного перемикача приєднаний до входу широкосмугового підсилювача безпосередньо, вихід широкосмугового підсилювача приєднаний до першого входу фазового детектора, вихід трансформатора приєднаний до другого входу фазового детектора через другий фазообертач, до виходу фазового детектора послідовно приєднані фільтр нижніх частот і перший індикатор, до виходу фазового детектора також послідовно приєднані фільтр верхніх частот, фазочутливий випрямляч і другий індикатор, вихід генератора зондуючих коливань через дільник частоти приєднаний до керуючих входів першого і другого автоматичних перемикачів і фазочутливого випрямляча.

Роздільна здатність двох фазообертачів складає десяти, в кращому випадку соті долі градуса, що не дозволяє проводити вимірювання в середовищах із слабкою нелінійністю. Наявність двох вольтметрів потребує одночасного зняття з них показань, що збільшує час проведення вимірювання. Фазообертачі потребують ручної підстройки, що збільшує вірогідність внесення додаткових похибок. Тому даний пристрій не завжди може забезпечити необхідну точність вимірювання.

В основу винаходу поставлена задача створити такий спосіб і пристрій для визначення залежності швидкості розповсюдження акустичних коливань від їх інтенсивності, в яких введення нових операцій в спосіб, введення нових елементів і зв'язків в пристрій дозволило б підвищити чутливість і роздільну здатність до оцінки малих нелінійностей в досліджуємих середовищах, що дозволило б виявляти скриті дефекти і структурні зміни в різних виробках і матеріалах з високою точністю.

Поставлена задача вирішується тим, що в спосіб визначення залежності швидкості розповсюдження акустичних коливань від їх інтенсивності, який полягає в тому, що генерують електричні коливання, формують з них пакети електричних зондуючих коливань, які

перетворюють в пакети акустичних зондуючих коливань, що випромінюють в досліджуєме середовище, приймають пройшовші середовище пакети акустичних зондуючих коливань, перетворюють їх в пакети прийнятих електричних зондуючих коливань, порівнюють по фазі пакети прийнятих зондуючих електричних коливань з генерованими, виділяють постійну і змінну складові, які зменшують до досягнення ними нульового значення, і визначають залежність швидкості розповсюдження акустичних коливань за формулою, при цьому зондування середовища здійснюють декілька разів при послідовному підвищенні амплітуди, згідно з винаходом, додатково генерують електричні опорні коливання, які мають постійну амплітуду, перетворюють їх в акустичні і випромінюють в досліджуєме середовище по черзі з зондуючими коливаннями, виділяють постійну складову при порівнянні по фазі прийнятих електричних опорних коливань з генерованими електричними опорними коливаннями, виділяють змінну складову при порівнянні по фазі прийнятих електричних зондуючих коливань з генерованими електричними зондуючими коливаннями, нульове значення постійної складової досягають змінням частоти генерованих електричних опорних коливань, нульове значення змінної складової досягають змінням частоти генерованих електричних зондуючих коливань, а зміну швидкості розповсюдження акустичних коливань Δc визначають за формулою

$$\Delta c = \frac{f_1' - f_2'}{f_2} c_0,$$

де f_1' – частота генерованих електричних зондуючих коливань;

f_2' – частота генерованих електричних опорних коливань;

c_0 – швидкість розповсюдження акустичних коливань малої інтенсивності.

Поставлена задача вирішується також тим, що пристрій для визначення залежності швидкості розповсюдження акустичних коливань від їх інтенсивності, який містить генератор зондуючих коливань, трансформатор, автоматичний перемикач, електроакустичний випромінювач, електроакустичний приймач, фазовий детектор, перший фільтр нижніх частот, фільтр верхніх частот, широкосмуговий підсилювач, фазочутливий випрямляч, при цьому вихід генератора зондуючих коливань з'єднаний із входом трансформатора, до виходу автоматичного перемикача послідовно приєднані електроакустичний випромінювач і електроакустичний приймач, згідно з винаходом, додатково містить комутатор, перший і другий підсилювач-обмежувачі, підсилювач постійної напруги, підсилювач змінної напруги, генератор опорних коливань, балансний змішувач, другий фільтр нижніх частот, цифровий частотомір, мультівібратор, цифровий вольтметр, при цьому вихід трансформатора через комутатор з'єднаний з першим входом автоматичного перемикача, електроакустичний приймач через перший підсилювач-обмежувач з'єднаний з першим входом фазового детектора, вихід автоматичного перемикача через другий підсилювач-обмежувач з'єднаний із другим вхо-

дом фазового детектора, до виходу фазового детектора приєднаний широкопasmовий підсилювач, до виходу широкопasmового підсилювача послідовно приєднані перший фільтр нижніх частот, підсилювач постійної напруги і керуючий вхід генератора опорних коливань, до виходу широкопasmового підсилювача також послідовно приєднані фільтр верхніх частот, підсилювач змінної напруги, фазочутливий випрямляч і керуючий вхід генератора зонduючих коливань, до виходу трансформатора послідовно приєднані перший вхід балансного змішувача, другий фільтр нижніх частот і перший вхід цифрового частотоміра, вихід генератора опорних коливань з'єднаний із другим входом цифрового частотоміра, другим входом балансного змішувача і другим входом автоматичного перемикача, до першого входу автоматичного перемикача приєднаний цифровий вольтметр, до виходу мультівібратора приєднані керуючі входи автоматичного перемикача і фазочутливого випрямляча.

Зміна частот електричних опорних коливань і електричних зонduючих коливань з метою досягти зникнення постійної і змінної складових напруги, відповідно, з подальшим визначенням в залежності від частоти зонduючих і опорних коливань зміни швидкості розповсюдження акустичних коливань за формулою дозволяє визначити зміну швидкості з високою точністю, тому що вимірювання частоти також можна провести з дуже високою точністю. Спостереження показань безпосередньо по табло цифрового приладу у вигляді десяткових чисел дозволяє виключити суб'єктивний фактор при їх зчитуванні. Автоматична підстройка частот генерованих електричних зонduючих коливань і генерованих електричних опорних коливань з подальшим виводом результатів вимірювання на табло цифрового приладу скорочує час вимірювання.

Введення в даному пристрої першого і другого підсилювачів-обмежувачів дозволяє привести амплітуди коливань на першому і другому входах фазового детектора до однакового рівня, що дозволяє в багато разів зменшити амплітудно-фазові спотворення. Введення балансного змішувача, другого фільтра нижніх частот, генератора електричних опорних коливань і цифрового частотоміра, працюючого в режимі вимірювання відношення двох частот, дозволяє повністю автоматизувати процес вимірювання і виключити ручну підстройку, а також проводити вимірювання з високою точністю, навіть в середовищах із слабкою нелінійністю. Введення цифрового частотоміра дозволяє спостерігати результат вимірювання безпосередньо на одному приладі, що зменшує час проведення вимірювань.

На фігурі представлена структурна схема пристрою для визначення залежності швидкості розповсюдження акустичних коливань від їх інтенсивності.

Пристрій містить генератор зонduючих коливань 1, трансформатор 2, комутатор 3, автоматичний перемикач 4, електроакустичний випромінювач 5, електроакустичний приймач 6, підсилювачі-обмежувачі 7 і 8, фазовий детектор 9,

широкопasmовий підсилювач 10, перший фільтр нижніх частот 11, підсилювач постійної напруги 12, генератор опорних коливань 13, балансний змішувач 14, другий фільтр нижніх частот 15, цифровий частотомір 16, фільтр верхніх частот 17, підсилювач змінної напруги 18, фазочутливий випрямляч 19, мультівібратор 20 і цифровий вольтметр 21. Досліджуєме середовище позначено позицією 22.

До виходу генератора зонduючих коливань 1 підключені послідовно з'єднані трансформатор 2, комутатор 3, перший вхід автоматичного перемикача 4, електроакустичний випромінювач 5, електроакустичний приймач 6, підсилювач-обмежувач 7, перший вхід фазового детектора 9 і широкопasmовий підсилювач 10, до виходу якого підключені послідовно з'єднані фільтр нижніх частот 11 і підсилювач постійної напруги 12, до виходу широкопasmового підсилювача 10 також підключені послідовно з'єднані фільтр верхніх частот 17, підсилювач змінної напруги 18 і фазочутливий випрямляч 19, вихід генератора опорних коливань 13 з'єднаний із другим входом автоматичного перемикача 4, вихід автоматичного перемикача 4 з'єднаний через підсилювач-обмежувач 8 із другим входом фазового детектора 9, вихід фазочутливого випрямляча 19 з'єднаний з керуючим входом генератора зонduючих коливань 1, вихід підсилювача постійної напруги 12 з'єднаний з керуючим входом генератора опорних коливань 13, низькопотенційний вихід трансформатора 2 з'єднаний з першим входом балансного змішувача 14, другий вхід балансного змішувача 14 з'єднаний з виходом генератора опорних коливань 13, вихід балансного змішувача 14 через фільтр нижніх частот 15 з'єднаний з першим входом цифрового частотоміра 16, другий вхід цифрового частотоміра 16 з'єднаний з виходом генератора опорних коливань 13, керуючі входи фазочутливого випрямляча 19 і автоматичного перемикача 4 підключені до виходу мультівібратора 20, вхід цифрового вольтметра 21 підключений до виходу комутатора 3. Між електроакустичним випромінювачем 5 і електроакустичним приймачем 6 розміщено досліджуєме середовище 22.

Спосіб визначення залежності швидкості розповсюдження акустичних коливань від їх інтенсивності працює слідуєчим чином.

Генерують електричні зонduючі коливання $U_1(t)$ за допомогою генератора зонduючих коливань 1:

$$U_1(t) = U_{m1} \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1), \quad (1)$$

де f_1 – частота генератора зонduючих коливань 1;

U_{m1} – амплітуда коливань;

φ_1 – початковий фазовий зсув.

Крім цього генерують електричні опорні коливання $U_2(t)$ за допомогою генератора опорних коливань 13:

$$U_2(t) = U_{m2} \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2), \quad (2)$$

де f_2 – частота генератора зонduючих коливань 13;

U_{m2} – амплітуда коливань;

φ_2 – початковий фазовий зсув.

Ці коливання по черзі крізь автоматичний перемикач 4 надходять на електроакустичний випромінювач 5. В початковому положенні автоматичного перемикача 4, як показано на фігурі, електричні опорні коливання $U_2(t)$, які мають постійну амплітуду, перетворюють в акустичні опорні коливання, які проходять крізь досліджуєме середовище 22 і приймаються електроакустичним приймачем 6. Прийняті акустичні опорні коливання перетворюють знову в прийняті електричні опорні коливання

$$U_n(t) = k U_{m2} \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2 + \Delta\varphi_2), \quad (3)$$

де $\Delta\varphi_2$ – фазовий зсув акустичних опорних коливань, який вноситься досліджуємим середовищем 22 на частоті f_2 ;

k – коефіцієнт послаблення акустичних опорних коливань по амплітуді.

Прийняті електричні опорні коливання $U_n(t)$ підсилюють і обмежують по амплітуді підсилювачем-обмежувачем 7, після чого вони надходять на перший вхід фазового детектора 9. Одночасно електричні опорні коливання $U_2(t)$ безпосередньо через підсилювач-обмежувач 8 надходять на другий вхід фазового детектора 9. Фазовий зсув, який вносить досліджуєме середовище 22, буде пропорційний його акустичній довжині L

$$\Delta\varphi_2 = 2\pi f_2 \frac{L}{c_0}, \quad (4)$$

де c_0 – швидкість розповсюдження акустичних коливань при їх невеликій інтенсивності.

Вихідну напругу фазового детектора 9, пропорційну фазовому зсуву $\Delta\varphi_2$, підсилюють широкопasmовим підсилювачем 10. Після цього з неї виділяють постійну складову напруги фільтром нижніх частот 11, яку підсилюють підсилювачем постійної напруги 12. Постійна складова впливає на керуючий вхід генератора опорних коливань 13 і змінює його частоту f_2 до отримання фазового зсуву, який кратний 2π :

$$\Delta\varphi_2' = 2\pi f_2' \frac{L}{c_0} = 2\pi n, \quad (5)$$

де $\Delta\varphi_2'$ – фазовий зсув, який вносить досліджуєме середовище 22 на частоті f_2' ;

f_2' – змінюєма частота генератора опорних коливань 13;

n – ціле число.

Після цього автоматичний перемикач 4 переводять в положення, протилежне показаному на фігурі, і на електроакустичний випромінювач 5 надходять електричні зонduючі коливання $U_1(t)$, які мають змінюєму амплітуду і частоту f_1 , яка близька до частоти f_2 . Фазовий зсув, який вносить досліджуєме середовище 22 на частоті f_1 , визначається вираженням

$$\Delta\varphi_1 = 2\pi f_1 \frac{L}{c_0}. \quad (6)$$

Якщо частота f_1 не дорівнює частоті f_2' , то вихідна напруга на виході фазового детектора 9

змінюється. При періодичних перемиканнях електричних коливань $U_1(t)$ і $U_2(t)$ автоматичним перемикачем 4 на його виході формуються пакети, які складаються з цих коливань, а на виході фазового детектора 9 з'явиться змінна складова напруги, частота якої дорівнює частоті перемикання пакетів електричних коливань. Змінну складову виділяють фільтром верхніх частот 17, підсилюють підсилювачем змінної напруги 18 і випрямляють фазочутливим випрямлячем 19. Випрямлена напруга впливає на керуючий вхід генератора зонduючих коливань 1 і змінює його частоту f_1 до значення f_1' , коли досягається рівність частот

$$f_1' = f_2', \quad (7)$$

де f_1' – змінена частота генератора зонduючих коливань 1.

За допомогою трансформатора 2 і комутатора 3 послідовно збільшують амплітуду електричних зонduючих коливань $U_1(t)$. При цьому в досліджуємому середовищі 22 при підвищенні інтенсивності акустичних коливань їх швидкість розповсюдження змінюється. Фазовий зсув, який вносить досліджуєме середовище 22 на частоті f_1' , приймає вигляд

$$\Delta\varphi_1' = 2\pi f_1' \frac{L}{c_0 + \Delta c}, \quad (8)$$

де Δc – зміна швидкості розповсюдження акустичних зонduючих коливань в залежності від їх інтенсивності.

При нерівності фазових зсувів, які вносить досліджуєме середовище 22 в коливання різної інтенсивності ($\Delta\varphi_1 \neq \Delta\varphi_1'$) знову виникає змінна складова напруги на виході фазового детектора 9. Ця змінна складова після підсилення і випрямлення відповідно змінює частоту f_1' генератора зонduючих коливань 1 до значення f_1'' , коли досягається фазовий зсув, який кратний 2π :

$$\Delta\varphi_1'' = 2\pi f_1'' \frac{L}{c_0 + \Delta c} = 2\pi n, \quad (9)$$

де $\Delta\varphi_1''$ – фазовий зсув, який вносить досліджуєме середовище 22 на частоті f_1'' ;

f_1'' – змінена частота генератора зонduючих коливань 1.

Прирівнюючи між собою вираження (5) і (9), отримуємо

$$\frac{f_2'}{c_0} = \frac{f_1''}{c_0 + \Delta c}. \quad (10)$$

Вирішивши рівняння (10) відносно зміни швидкості розповсюдження акустичних коливань Δc , отримуємо

$$\Delta c = \frac{f_1'' - f_2'}{f_2'} c_0. \quad (11)$$

Електричні коливання $U_1(t)$ і $U_2(t)$ додатково змішують в балансовому змішувачі 14. Після цього

з них фільтром нижніх частот 15 виділяють різнісні коливання з частотою $f_1 - f_2$. На перший вхід цифрового частотоміра 16 надходять різнісні коливання з частотою $f_1 - f_2$, а на його другий вхід – коливання $U_2(t)$ з частотою f_2 . В режимі вимірювання відношення частот цифровий частотомір 16 буде показувати значення

$$K = \frac{f_1 - f_2}{f_2} \quad (12)$$

Це значення пропорційно зміні швидкості розповсюдження акустичних коливань

$$\Delta c = K c_0 \quad (13)$$

Збільшуючи амплітуду електричних зондуючих коливань $U_1(t)$ за допомогою трансформатора 2 і комутатора 3 отримують залежність швидкості розповсюдження акустичних коливань в досліджуємому середовищі від їх інтенсивності

$$\Delta c(U_m) = K c_0 \quad (14)$$

Таким чином, вимірювання зміни швидкості розповсюдження акустичних коливань від зростання амплітуди зондуючих коливань виконується по табло цифрового частотоміра з відносною роздільною здатністю $10^{-6} \dots 10^{-9}$, що забезпечує можливість реєстрації змін в швидкості розповсюдження акустичних коливань в четвертому і навіть п'ятому знаках після коми. Цього досить для оцінки змін швидкості розповсюдження навіть в слабонелінійних середовищах

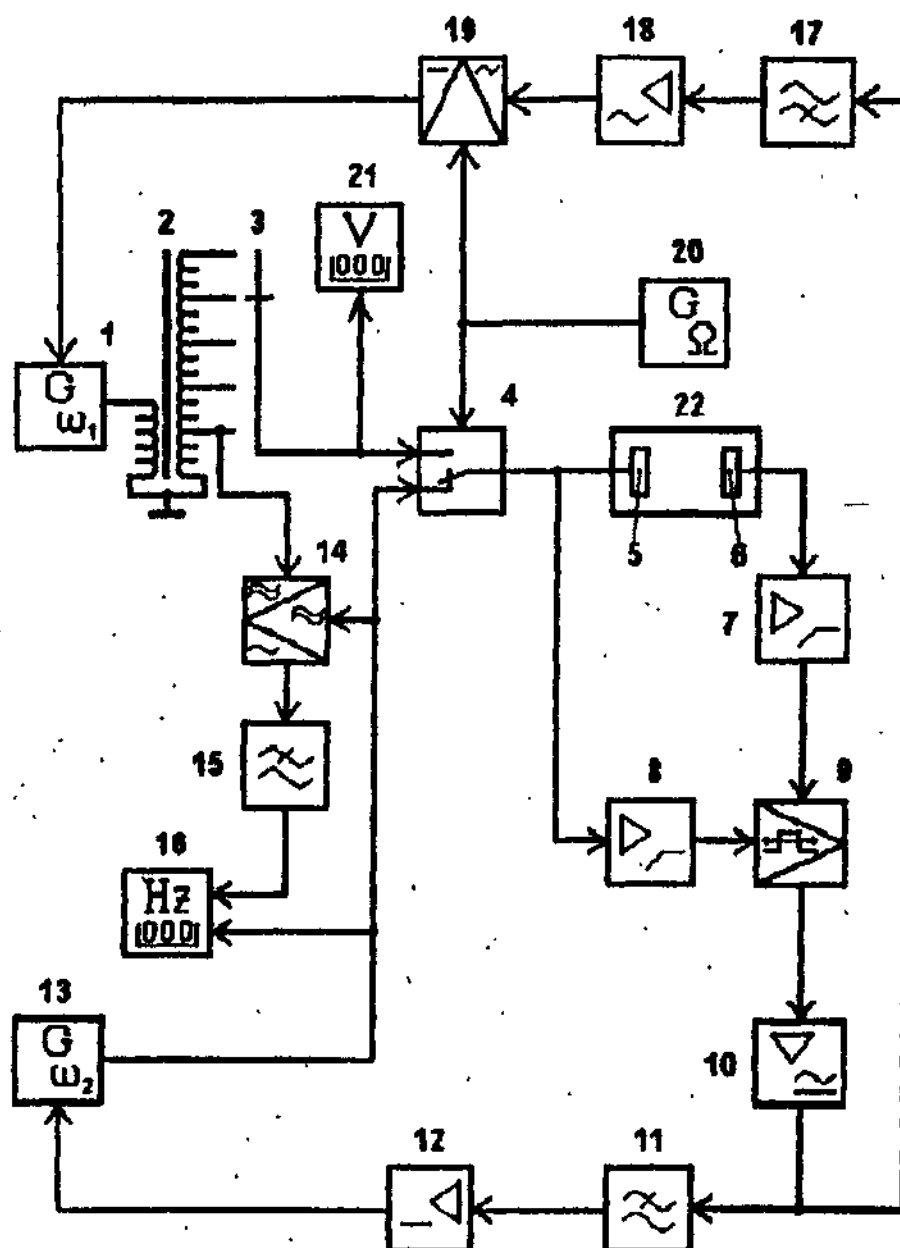
Пристрій для визначення залежності швидкості розповсюдження акустичних коливань від їх інтенсивності працює слідуючим чином.

Роботу автоматичного перемикача 4 забезпечує мультивібратор 20, який перемикається з частотою Ω . Частоту Ω вибирають менше частоти f_1 в 50–100 разів. При безперервній роботі автоматичного перемикача 4 пакети електричних коливань генератора зондуючих коливань 1 і

генератора опорних коливань 13 по черзі впливають на електроакустичний випромінювач 5. При початковій нерівності частот, а отже, і фазових зсувів, які вносять досліджуєме середовище 22, на входи фазового детектора 9 впливають пакети різних частот з різними фазами. Підсиленна широкопasmовим підсилювачем 10 вихідна напруга фазового детектора 9 розділяється фільтрами нижніх частот 11 і верхніх частот 17 на постійну і змінну складові. Постійна складова напруги підсилюється підсилювачем постійної напруги 12, а змінна складова – підсилювачем змінної напруги 18. Змінна складова напруги випрямляється фазочутливим випрямлячем 19, який керується від мультивібратора 20 синхронно з автоматичним перемикачем 4

Постійна напруга з виходу підсилювача постійної напруги 12 впливає на керуючий вхід генератора 13, а постійна напруга з вихода фазочутливого випрямляча 19 – на керуючий вхід генератора 1. Підвищення амплітуди зондуючих коливань відносно опорних коливань виконується трансформатором 2 і комутатором 3, її значення вимірюється цифровим вольтметром 21. При кожному новому значенні амплітуди зондуючих коливань відбувається автоматична підстройка частот генераторів 1 і 13. Коливання, пропорційні різниці цих частот, формуються в балансовому змішувачі 14 і виділяються фільтром нижніх частот 15. Відлік змін швидкості розповсюдження акустичних коливань в досліджуємому середовищі 22 виконується по частотоміру 16, який працює в режимі вимірювання відношення двох змінюємих частот (різнісної і опорної).

У зв'язку з тим, що на входи підсилювачів-обмежувачів 7 і 8 і фазового детектора 9 при будь-якому положенні автоматичного перемикача 5 впливають рівні по амплітудам напруги, то фазо-амплітудні спотворення і відповідні похибки відсутні. Тому при відсутності нелінійних ефектів в досліджуємому середовищі змінна складова в вихідній напрузі фазового детектора також відсутня, що забезпечує рівність частот генераторів 1 і 13, а отже і стабільний "нуль".



Тираж 50 екз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»
 Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
 (03122) 3-72-89 (03122) 2-57-03

