

Винахід відноситься до контрольної-вимірювальної техніки і може бути застосований для контролю товщини внутрішнього полімерного покриття на металевих виробах (резервуарах, трубопроводах, апаратурі хімічного виробництва тощо).

Існує ультразвуковий вимірювач товщини покриття (Королев М.В. Безэталонные ультразвуковые толщиномеры. - М.: Машиностроение, 1985. - С.11 - 12), що містить генератор електричних імпульсів, електроакустичний перетворювач, часовий селектор, підсилювач, ланку затримки, пороговий пристрій і перетворювач часового інтервалу в тіло імпульсів, які підраховуються електронним лічильником.

Ланка затримки може використовуватись для компенсації часової затримки ультразвукового імпульсу при проходженні ним стінки виробу до внутрішнього покриття. Але виникає велика похибка у визначенні товщини покриття, обумовлена технологічними відхиленнями товщини стінки виробу.

Для контролю товщини покриття може бути застосований велосиметричний вимірювач (Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: Справ. - В 2 - х кн. - Кн.2 / Под ред. В.В. Ключева - М.: Машиностроение, 1986. - С.300 - 303), що містить генератор електричних коливань, два електроакустичних перетворювача, розташованих на зовнішній стороні виробу на фіксованій відстані один від одного, перетворювач зсуву фази в електричний сигнал і вихідний індикатор, із зміною товщини покриття змінюється швидкість розповсюдження пружних хвиль нульового порядку, що веде до зміни фази біжучої хвилі в точці приймання. Але для малої товщини полімерного покриття на металевому виробі зміна товщини покриття мало впливає на результуючу швидкість розповсюдження пружних коливань, що веде до великих похибок вимірювання товщини покриття.

Існує також ультразвуковий вимірювач товщини покриття (Авт. св. СРСР №1747894, кл. G01B17/02, 1992), що містить високочастотний генератор, до виходу якого через ключ підключений підсилювач потужності і електроакустичний перетворювач, послідовно з'єднані високочастотний селективний підсилювач з блоком автоматичного регулювання підсилення, детектор і фільтр нижніх частот, одновібратор, з'єднаний виходом з керуючим входом ключа, формувач прямокутних імпульсів, подільник частоти і індикатор.

В склад вимірювача також входять перший фазообертувач, підключений між виходом високочастотного генератора і ключами, другий фазообертувач, підключений на вході детектора, другий електроакустичний перетворювач, синхронний детектор, виконуючий вузол, з'єднаний з керуючим входом другого фазообертувача і індикатором.

Вимірювач дозволяє контролювати відхилення товщини покриття при двосторонньому розташуванні електроакустичних перетворювачів. При однобічному контролі виникають великі похибки у визначенні зсуву фаз, відбитих від обох поверхонь покриття несучих коливань ультразвукових імпульсів. За малої товщини покриття в зрівнянні з стінками виробу

неминуче накладення двох сусідніх відбитих імпульсів, що обумовлює додатковий інтерференційний зсув фаз коливань, який залежить від співвідношення амплітуд відбитих імпульсів. Зменшення тривалості зондуючих імпульсів з метою вилучення їх накладання поширює спектр частот випромінюємих і приймаємих імпульсів, що викликає великі фазові відхилення від перехідних процесів і знижує захищеність імпульсних вимірювань.

В основу винаходу вкладається задача створення такого ультразвукового вимірювача товщини покриття, в якому введення нових елементів і взаємозв'язків між ними дозволила б підвищити точність визначення товщини внутрішнього покриття під час його зондування через стінку виробу ультразвуковими імпульсами обраних частоти і тривалості.

Ця задача розв'язується тим, що в пристрій, який містить високочастотний генератор, до виходу якого через ключ підключений підсилювач потужності і електроакустичний перетворювач, послідовно з'єднані високочастотний селективний підсилювач з блоком автоматичного регулювання підсилення, детектор і фільтр нижніх частот, одновібратор, з'єднаний виходом з керуючим входом ключа, формувач прямокутних імпульсів, подільник частоти і індикатор, відповідно винаходу, в нього введені імпульсний генератор, елемент затримки, регістр, багаторозрядний елемент співпадання, реверсивний лічильник імпульсів, перемикач, генератор рахункових імпульсів і імпульсно-потенціальний елемент співпадання, потенціальний вхід якого через формувач прямокутних імпульсів з'єднаний з виходом фільтра нижніх частот, імпульсний вхід з'єднаний з генератором рахункових імпульсів, вихід імпульсно-потенціального елемента співпадання з'єднаний з входом перемикача, один вихід якого з'єднаний з віднімаючим входом реверсивного лічильника імпульсів, другий вихід з'єднаний з його сумуючим входом, кодовий вихід реверсивного лічильника імпульсів через багаторозрядний елемент співпадання з'єднаний з регістром, до виходу якого підключений індикатор, керуючий вхід багаторозрядного елемента співпадання через подільник частоти з'єднаний з виходом імпульсного генератора, з'єднаного з входом одновібратора, інверсний вихід якого з'єднаний з керуючим входом перемикача, вхід обнулення реверсивного лічильника імпульсів з'єднаний через елемент затримки з виходом подільника частоти, а вхід високочастотного селективного підсилювача з'єднаний з входом електроакустичного перетворювача.

Завдяки введенню у схему ультразвукового вимірювача товщини покриття, імпульсно-потенціального елемента співпадання, генератора рахункових імпульсів, перемикача з реверсивним лічильником імпульсів різниця тривалостей зондуючого і відбитого імпульсів перетворюється в цифровий код, пропорційний товщині контролюємого покриття, імпульсний генератор сумісно з подільником частоти і елементом затримки забезпечують накопичування залишку імпульсів в реверсивному лічильнику, запам'ятовування коду і відображення інформації про товщину покриття на індикаторі. Протифазне керування ключа і перемикача реверсивного лічильника від прямого і інверсного виходів

одновібратора, підключеного до імпульсного генератора, дають можливість окремо і по чергові обробляти випромінюємі зондуючі імпульси і приймати відбиті від покриття імпульси одними перетворювальними елементами, що забезпечує розв'язання задачі збільшення точності визначення товщини внутрішнього покриття.

Функціональна схема ультразвукового вимірювача товщини покриття представлена на фіг.1, а на фіг.2 зображені можливості еюри зондуючих і відбитих імпульсів.

Ультразвуковий вимірювач містить високочастотний генератор 1, ключ 2, імпульсний генератор 3, одновібратор 4, підсилювач потужності 5, електроакустичний перетворювач 6, розміщений на стінці резервуара 7 з внутрішнім покриттям 8 і рідким середовищем 9, високочастотний селективний підсилювач 10 з блоком 11 автоматичного регулювання посилення, детектор 12, фільтр нижніх частот 13, формувач прямокутних імпульсів 14, імпульсно-потенціальний елемент співпадання 15, генератор рахункових імпульсів 16, перемикач 17, реверсивний лічильник імпульсів 18, багаторозрядний елемент співпадання 19, регістр 20, індикатор 21, елемент затримки 22 і подільник частоти 23.

Високочастотний генератор 1 через ключ 2, керуючий вхід якого підключений до імпульсного генератора 3 через одновібратор 4, підсилювач потужності 5 з'єднаний з електроакустичним перетворювачем 6. Останній контактує з стінками резервуара 7, внутрішнє покриття 8 якого ізолює стінки від заповнюючої рідини 9. Високочастотний селективний підсилювач 10 з блоком автоматичного регулювання підсилення 11 підключений до входу електроакустичного перетворювача 6. До виходу підсилювача 10 через послідовно з'єднані детектор 12, фільтр нижніх частот 13 і формувач прямокутних імпульсів 14 підключений потенціальним входом елемент співпадання 15, імпульсний вхід якого з'єднаний з генератором рахункових імпульсів 16. Вихід елемента співпадання 15 через перемикач 17 з'єднаний з входами реверсивного лічильника імпульсів 18. Кодові виходи реверсивного лічильника 18 через багаторозрядний елемент співпадання 19 з'єднані з регістром 20, з'єданого з індикатором 21. Керуючий вхід елемента 19 підключений до імпульсного генератора 3 через подільник частоти 23, а вхід обнулення реверсивного лічильника 18 з'єднаний з виходом подільника частоти 23 через елемент затримки 22. Керуючий вхід перемикача 17 підключений до інверсного виходу одновібратора 4.

Ультразвуковий вимірювач товщини покриття працює таким чином. З безперервних електричних коливань генератор 1 (фіг.1) формує за допомогою ключа 2, який керується імпульсним генератором 3 через одновібратор 4, імпульси напруги, що складаються з декількох періодів несучої частоти. Ці імпульси підсилюються підсилювачем потужності 5 і перетворюються електроакустичним перетворювачем 6 в послідовності ультразвукових (зондуючих) імпульсів (фіг.2,а), які вводяться в стінку виробу 7. На внутрішній поверхні виробу нанесено полімерне покриття 8, що ізолює стінки виробу, наприклад, резервуара, від рідини 9.

На межі розподілу двох середовищ метал -

полімер виникає відбиття частини акустичної енергії імпульсів (фіг.2,б). Імпульс, що пройшов крізь межу розподілу, знов відбивається від другої межі розподілу середовищ полімер-рідина (фіг.2,в), а інша частина акустичної енергії імпульсу розсіюється у рідині. При цьому тривалості відбитих імпульсів дорівнюють тривалості зондуючого імпульсу ( $\Delta t'_0 = \Delta t''_0 = \Delta t_3$ ).

Відбиті від обох поверхонь покриття ультразвукові імпульси накладаються один на одного (фіг.2,г), утворюючи складений імпульс, який приймається електроакустичним перетворювачем 6 як один імпульс, де він знов перетворюється в електричний імпульс.

Зондуючі та прийняті відбиті імпульси по чергові посилюються селективним підсилювачем 10, налаштованим на частоту генератора 1 з блоком автоматичного регулювання посилення 11. Електричні імпульси з нормованою підсилювачем 10 амплітудою детектуються амплітудним детектором 12. Фільтром 13 нижніх частот виділяються відеоімпульси, з яких блоком 14 формуються відповідні прямокутні імпульси (фіг.2,д).

З імпульсно-потенціального елемента співпадання 15 і генератора рахункових імпульсів 16 формуються пакети рахункових імпульсів, кількість яких в кожному пакеті пропорційно тривалостям зондуючого (фіг.2,а) і відбитого (фіг.2,б) імпульсів. Пакети імпульсів (фіг.2,д) через перемикач 17 по чергові потрапляють на входи реверсивного лічильника імпульсів 18.

Коли ключ 2 замкнений на час затримки одновібратора 4, перемикач 17 підключає вихід елемента співпадання 15 до віднімаючого виходу реверсивного лічильника 18. В лічильнику накопичується кількість імпульсів, пропорційна тривалості зондуючого імпульсу (фіг.2,а). При розмиканні ключа 2 перемикач 17 підключає вихід елемента співпадання 15 до сумуючого виходу реверсивного лічильника 18. Це забезпечується керуванням перемикача 17 з інверсного виходу одновібратора 2. У лічильнику за час дії відбитого імпульсу накопичується кількість імпульсів, пропорційна тривалості складеного відбитого імпульсу (фіг.2,г).

З формуванням наступного зондуючого імпульсу відбувається перемикання перемикача 17 на віднімаючий вхід реверсивного лічильника 18, а з появою відбитого імпульсу - перемикання на сумуючий вхід лічильника. При цьому у лічильнику 18 накопичується залишок імпульсів, який пропорційний різниці тривалостей відбитого і зондуючого імпульсів. Час накопичування імпульсів у лічильнику 18 визначається періодом повторення імпульсів генератора 3 і коефіцієнтом поділки подільника частоти 22. В результаті ділення частоти прямування імпульсів формується часовий інтервал, що складається з декількох періодів прямування зондуючих імпульсів. По витіканню цього інтервалу код накопиченого числа імпульсів через багаторозрядний елемент співпадання 19 прямує на регістр 20, з'єднаний з цифровим індикатором 21. При цьому реверсивний лічильник 18 обнуляється імпульсом, затриманим ланкою затримки 22 на час запам'ятання коду в регістрі 20.

Частоту F прямування зондуючих імпульсів вибирають такою, щоб час проходження ультразвукового імпульсу від моменту

випромінювання до моменту його приймання був менший за період повторення імпульсів. Якщо товщина стінки виробу  $l$  і швидкість розповсюдження ультразвукових коливань  $c_1$ , а товщина покриття  $\delta \ll l$ , то період повторення імпульсів  $1/F > 2l/c_1$ , а частоту прямування потрібно вибрати з співвідношення

$$F = (0.1 \dots 0.2) c_1 / 2l.$$

Тривалість зондуючих імпульсів вибирають з умов найбільшого поширення відбитого складеного імпульсу у порівнянні з зондуючим. Відповідно структурі імпульсів на фіг.2 найбільше поширення імпульсу буде тоді, коли тривалість зондуючого імпульсу в 2 рази більше часу проходження ультразвуковими коливаннями контролюємого покриття товщиною  $l$ . У цьому випадку відбитий складений імпульс в 2 рази ширше за зондуючого. Тому тривалість зондуючого імпульсу  $\Delta t_3$  доцільно обирати із співвідношення

$$\Delta t_3 = 2 \delta / c_2.$$

де  $c_2$  - швидкість поширення ультразвукових коливань в матеріалі покриття.

Кількість періодів  $p$  несучої частоти в зондуючому імпульсі повинна бути не меншою ніж 20 - 30 для вилучення крутих фронтів відеоімпульсів на виході детектора 12. Тому частоту  $f$  несучих коливань, які генеруються високочастотним генератором 1, визначають відповідно обраної тривалості зондуючих імпульсів і кількості періодів  $p$  несучої частоти. Якщо тривалість зондуючих імпульсів

$$\Delta t_3 = p / f = 2 \delta / c_2,$$

то оптимальна частота несучих коливань

$$f_{оп} = pc_2 / 2 \delta.$$

Але частота несучих коливань обмежується затуханням у матеріалі стінок виробу, в самому покритті, а також конструкцією електроакустичного перетворювача 6. Тому робочу частоту несучих коливань обирають меншою оптимальної ( $f_p < f_{оп}$ ). В цьому випадку тривалість зондуючих імпульсів

$$t_{3p} = p / f_p > t \Delta_3.$$

Розширення відбитого імпульсу у порівнянні з зондуючим буде меншим, але чисельно буде дорівнювати подвоєному часу проходження ультразвуковими коливаннями по товщині покриття.

Таким чином зменшення частоти несучих коливань зондуючих імпульсів призводить до збільшення їх тривалості  $\Delta t_3$ . Одночасно збільшується тривалість  $\Delta t_0$  відбитих імпульсів. Але при цьому різниця тривалостей зондуючого та відбитого імпульсів залишається сталою

$$\Delta t_0 - \Delta t_3 = 2 \delta / c_2.$$

Цифровий код, який зберігається у регістрі 20 цифрового індикатора 21, пропорційний визначеній різниці часових інтервалів. Завдяки цьому на табло індикатора 21 відображається товщина покриття при відомій швидкості розпоширення коливань  $c_2$ :

$$\delta = \frac{(\Delta t_0 - \Delta t_3) c_2}{2}.$$

Як приклад розглянемо вимірювання полімерного покриття з полістиролу ( $c_2 = 2370$  м/с) товщиною  $\delta = 1$  мм на нафтоналивному баці ( $c_1 = 5900$  м/с) з товщиною стінок з сталі  $l = 10$  мм.

Визначимо оптимальну частоту несучих коливань зондуючих імпульсів для  $p = 20$

$$f_{оп} = \frac{pc_2}{2\delta} = \frac{20 \cdot 2370}{2 \cdot 10^{-3}} \approx 24 \text{ МГц.}$$

Для електроакустичного перетворювача типа Panametrics приймаємо робочу частоту  $f_p = 5$  МГц.

В цьому випадку тривалість зондуючих імпульсів, на яку настраюється затримка одновібратора 4

$$t_{3p} = p / f_p = 20 / (5 \cdot 10^6) = 4 \cdot 10^{-6} \text{ кГц.}$$

Частота повторення зондуючих імпульсів з умов роздільного приймання зондуючого і відбитого імпульсів

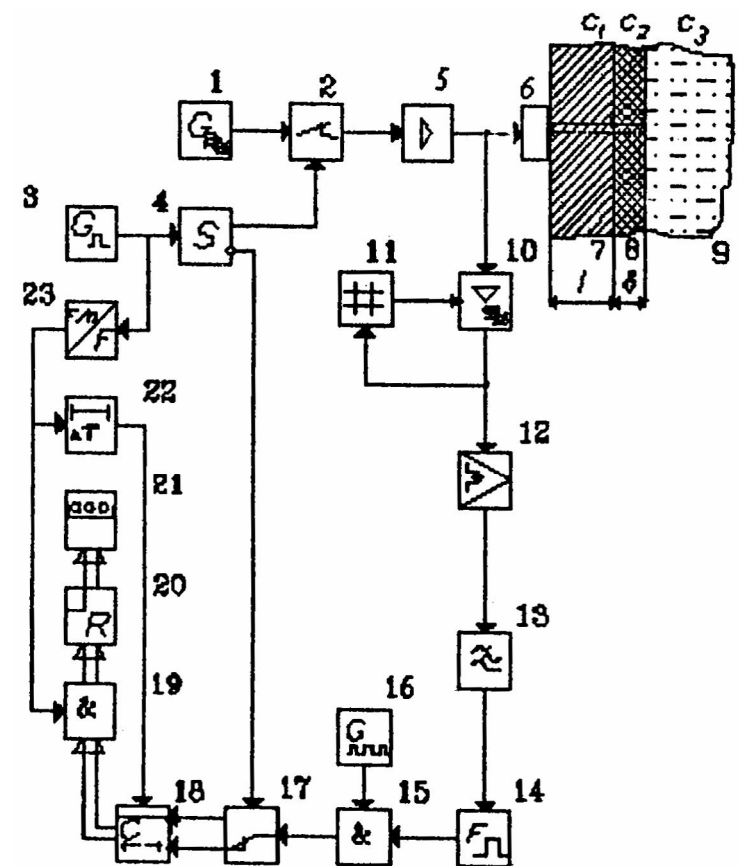
$$F = 0.1 c_1 / 2l = \frac{0.1 \cdot 5900}{2 \cdot 10^{-2}} \approx 30 \text{ кГц.}$$

Різниця тривалостей зондуючого та відбитого імпульсів

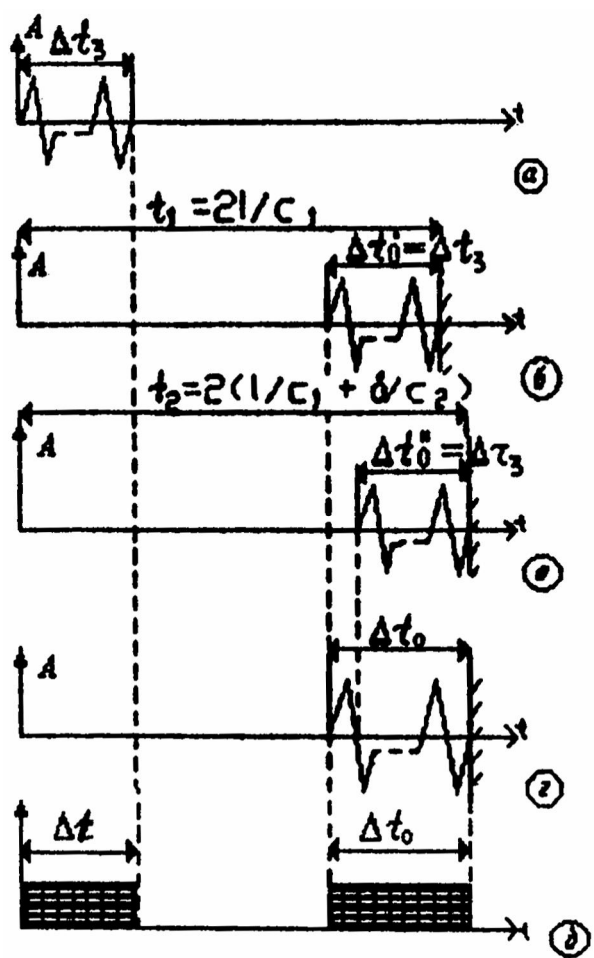
$$\Delta t_0 - \Delta t_3 = 2 \delta / c_2 =$$

$$= \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2370} \approx 0.87 \cdot 10^{-6} \text{ с. } (0.84 \cdot 10^{-6}).$$

З приведеного прикладу видно, що замість прямого вимірювання малого часового інтервалу в 0,87 мкс порівнюються два відносно великих інтервали в 4 мкс і 4,8 мкс з вимірюванням їх різниці. Збільшення кількості періодів несучої частоти в зондуючих імпульсах можливо розширити імпульси, що порівнюються, до необхідного значення.



Фіг. 1



Фиг. 2