

УДК 681.586.773

Й.І. СТЕНЦЕЛЬ, К.А. ЛІТВИНОВ, А.В. РЯБІЧЕНКО, О.І. ШАПОВАЛОВ

Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м.Сєверодонецьк

**ЗАСІБ КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ З
КІЛЬЦЕВИМ РУХОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СИГНАЛУ**

Анотація. У роботі описується ультразвуковий засіб контролю рівня, заснованого на принципі кільцевого руху ультразвукового сигналу. Одним з елементів такого кільця є рідинне середовище технологічного апарату. Ультразвуковий сигнал проходить газове середовище тільки в одному напрямку – від поверхні рідинного середовища.

Ключові слова: ультразвук, засіб, контроль, середовище, поверхня, рідина, газ, спосіб, випромінювач, приймач, сигнал, вимірювання, діапазон, похибка.

Аннотация. В работе описывается ультразвуковое средство контроля уровня, основанного на принципе кольцевого движения ультразвукового сигнала. Одним из элементов такого кольца является жидкостная среда технологического аппарата. Ультразвуковой сигнал проходит газовую среду только в одном направлении - от поверхности жидкостной среды.

Ключевые слова: ультразвук, средство, контроль, среда, поверхность, жидкость, газ, способ, излучатель, приемник, сигнал, измерения, диапазон, погрешность.

Abstract. The paper describe the operation of the ultrasonic level controls, based on principle of the circular motion of the ultrasonic signal. One of the elements of such a ring is a liquid medium technological device. The ultrasonic signal passed the gaseous medium in one direction only – from the liquid medium to the receiver.

Key worlds: ultrasonic tool control medium surface, a liquid gas, the process transmitter, a receiver, a signal measurement range error.

Вступ

Ультразвукове випромінювання широко використовується в різних областях науки і техніки, у тому числі для контролю різноманітних технологічних параметрів, у дефектоскопії, для побудови неінвазивних засобів лікування тощо [1-5]. Ультразвуковий сигнал (УЗС) випромінюється відповідним випромінювачем (УЗВ) і направляється на досліджуваній об'єкт. Після перетворення УЗС повертається в ультразвуковий приймач (УЗП). На шляху свого проходження УЗС може декілька разів перетворюватися в різну форму. Кожний такий перехід є реологічним. В ультразвукових ЗКР використовуються, як правило, п'єзоелектричні (в основному п'єзокерамічні) елементи, які призначені для створення ультразвукових коливань (УЗК) при дії на них електричного збуджуючого імпульсу [6, 7]. Під дією електродинамічного зусилля п'єзоелектричний елемент, який має форму пластини круглої форми, деформується подібно металевій мембрані, яка жорстко закріплена за периметром. Після припинення дії електродинамічного зусилля УЗВ здійснює вільні механічні коливання, частота яких знаходиться в ультразвуковому діапазоні. З іншої сторони, механічні коливання наводять в УЗВ електрорушійну силу з частотою тих же коливань, яка створює електродинамічне зусилля, котре направлено протилежно до напрямку руху УЗВ, створюючи гальмуючу дію [10-12]. За рахунок цього загасання коливань УЗВ здійснюється швидше, що приводить до формування короткого ультразвукового імпульсу у формі інтегральної δ – функції Дірака. Виходячи зі сказаного в УЗВ протікають електромагнітні процеси, які супроводжуються перетвореннями електричної енергії в механічну та навпаки.

Більшість відомих ультразвукових рівнемірів працює за принципом вимірювання часу проходження ультразвуковим імпульсом (УЗІ) подвійної відстані від передавача до контролюючої поверхні та визначає рівень за добутком половини вимірюного часу та відомої швидкості ультразвуку в даному середовищі. Недоліком таких рівнемірів є проходження УЗІ подвійної відстані в газовому середовищі (ГС), що суттєво послаблює сприймаючий сигнал, залежність його показань від параметрів цього середовища (тиску, температури, складу газу), в якому розповсюджується УЗІ. Ультразвуковий рівнемір «ВЗЛЕТ УР» виробництва ЗАТ «Взлет» [8], який працює за принципом вимірювання часу проходження УЗІ подвійної відстані від передавача до поверхні рідинного середовища (ПРС), але відрізняється тим, що в якості часу проходження УЗІ вимірюють час проходження від моменту зміни однієї частоти на іншу у випроміненому імпульсі до моменту відповідної зміни частоти в прийнятому передавачем імпульсі, відбитим від ПРС. Для компенсації зміни параметрів ГС у рівнемірі використовується реперна пластина, яка встановлена на фіксованій відстані від передавача. За часом проходження УЗІ подвійної відстані від передавача до реперної поверхні визначається швидкість розповсюдження УЗІ. До недоліків, які обмежують використання даного рівнеміра, відноситься наявність великої зони нечутливості (0,5 метрів) і достатньо малий діапазон вимірювання (від 0,5 до 5 метрів). В ультразвуковому рівнемірі МТМ900 виробництва ТОВ НВП «Мікротерм» [9] вимірювання рівня РС здійснюється за принципом визначення часу проходження УЗІ подвійної відстані від п'єзокерамічного передавача до ПРС, який реалізований в блоці датчика. Блок датчика складається з п'єзокерамічного передавача, який підключений до підсилювача. Управління підсилювачем здійснюється з допомогою мікроконтролера, який управляє блоком формування імпульсів збудження, підключеного до п'єзокерамічного випромінювача (ПКВ). Час проходження УЗІ визначається від моменту досягнення максимального відхилення мембрани передавача до

моменту перевищення встановленого значення підсилення відбитим сигналом. Порівняння відбитого сигналу з встановленим значенням здійснюється з допомогою мікроконтролера. Для компенсації зміни параметрів ГС використовується реперна пластина, яка встановлена на фіксованій відстані від ПКВ. До недоліків такого рівнеміра слід віднести: наявність великої зони нечутливості, яка досягає 600 мм, чутливість до перешкод і повторно відбитих УЗІ, які обумовлені великим коефіцієнтом підсилення при зміні малих значень рівня, малий діапазон вимірювального контролю, який не перевищує 5000 мм, що обмежує широке їх використання в системах господарських розрахунків особливо при контролі рівня РС у резервуарах висотою до 10 метрів.

Мета статті

Метою статті є описання принципу роботи ультразвукового засобу контролю рівня, заснованого на кільцевому односторонньому проходженні випроміненого ультразвукового сигналу.

Постановка задачі

Задача полягає у зменшенні зони нечутливості, розширенні діапазону вимірювального контролю та підвищенні точності й вірогідності вимірювального контролю рівня РС.

Принцип роботи ультразвукового засобу контролю рівня з кільцевим проходженням ультразвукового сигналу

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що вимірювання рівня здійснюється за рахунок часу проходження УЗІ тільки відстані від ПРС до приймача УЗІ, який визначається від моменту подачі одиночного електричного збуджуючого імпульсу (ЕЗІ) на ПКВ до моменту перевищення напруги, створеної п'єзокерамічним приймачем (ПКП) і підсиленої підсилювачем, встановленого значення опорної напруги. На рис. 1 приведена схема ультразвукового засобу контролю рівня рідинних середовищ з кільцевим проходженням ультразвукового сигналу.

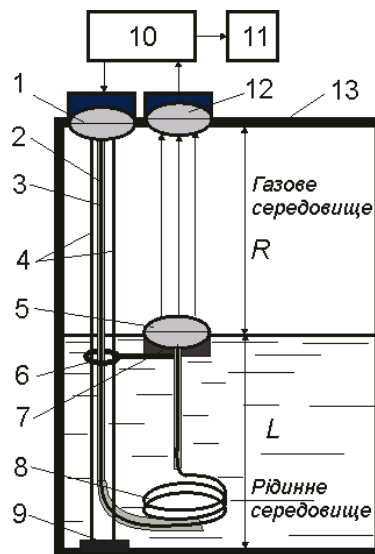


Рис. 1. Схема ультразвукового засобу контролю рівня з кільцевим проходженням УЗС

На рис.1 позначено: 1 - первинний випромінювач УЗПП1; 2 - гнучка металева линва для перенесення УЗІ; 3 - полімерне покриття гнучкої металевій линви; 4 - направляючі штанги; 5 - вторинний випромінювач УЗПП5; 6 - стабілізуючий хомут для поплавка вторинного УЗПП5; 7 - поплавок для розміщення вторинного УЗПП5; 8 - пружинна скрутка передаючої металевій линви; 9 - грузило для закріплення направляючих штанг до дна резервуару; 10 - вимірювальна схема; 11 - блок реєстрації вимірюваного значення рівня; 12 - приймач УЗІ, відбитого від ПРС; 13 - кришка резервуару для рідини. Принцип роботи такого УЗЗКР полягає в наступному. Первинний УЗПП1 розташований поруч з приймачем УЗП 12 на кришці резервуару 13, а вторинний УЗПП5 - на поплавку 7, який плаває на ПРС, і підключений до первинного УЗПП1 з допомогою металевій линви 2, яка ізольована від РС полімерним захисним покриттям 3. З рівномірного руху вторинного УЗПП5 відносно УЗП 12 встановлені штанги 4, які закріплені до дна резервуару грузилом 9.

Вимірювання рівня L рідини в резервуарі здійснюється за допомогою вторинного УЗПП5 5, який випромінює УЗІ і передає їх через ГС товщиною R до УЗП 12, котрий змонтований на кришці резервуару (13). Так як відстань від первинного УЗПП1 1 до УЗПП5 5 є сталою і визначається довжиною линви 2 зі захисним полімерним покриттям 3, по якій розповсюджуються УЗІ, а відстань від УЗПП5 до

УЗП визначається рівнем рідини L в резервуарі, то час проходження УЗІ цієї відстані буде залежним від рівня РС L . Так як сигнал первинного УЗПП1 пропорційний сигналу УЗПП5, а час проходження УЗІ по металевій линві є сталим і значно менший від проходження УЗІ через ГС, то цей час практично не впливає на результат вимірювання рівня. Час, за яким визначається рівень РС, складається з часу τ_1 подачі одиничного ЕЗІ на ПКВ, часу τ_2 формування УЗІ первинним УЗПП1, часу τ_3 проходженням УЗІ по металевій линві до вторинного УЗПП5, часу τ_{Γ} проходження УЗІ газового середовища і часу τ_4 сприйняття УЗП, перетворення в напругу та підсилення останньої. Сумарний час, за який формується цикл вимірювального контролю, дорівнює: $\tau_{\Sigma} = (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4) + \tau_{\Gamma} = \tau_0 + \tau_{\Gamma}$, де $\tau_0 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 = const$. УЗПП5 конструктивно має приймаючу та випромінюючу металеві мембрани, між якими знаходиться п'єзокерамічний елемент (ПКЕ), який служить передавачем первинних УЗІ. Так як канали випромінювання та сприйняття УЗІ є розділеними, а УЗПП5 знаходиться в газорідному середовищі, яке характеризується тиском газу D і температурою \dot{O} , то це дозволяє створити реперний канал для тестування та налагодження нормального початкового стану вимірювального каналу з врахуванням зміни тиску ГС і температури РС. Принцип уведення поправки за реперним сигналом полягає в наступному. УЗІ, випромінений первинним УЗПП1, сприймається УЗПП5, ПКЕ котрого формує вторинний УЗІ, котрий одночасно формує реперний УЗІ. Останній повертається по металевій линві до первинного УЗВ, і формує напругу \dot{a}_p реперного сигналу, яка запам'ятовується вимірювальною схемою 10. Ця напруга порівнюється зі заданою опорною реперною напругою \dot{a}_{0p} і при необхідності вводиться поправка в результат тестування вимірювальної схеми. Час формування реперного сигналу $\tau_p = 2(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)$ записується в пам'ять мікроконтролера і використовується для уведення поправки при розрахунку дійсного значення рівня РС. Випромінений УЗІ з УЗПП5, пройшовши ГС, сприймається УЗП.

За рахунок одноразового проходження УЗІ відстані R у ГС похибка вимірювання рівня РС, обумовлена зміною температури, тиску та складу цього середовища зменшується практично в 2 рази. Так як послаблення УЗІ в газовому середовищі зменшується практично в два рази (за рахунок одноразового проходження УЗІ відстані R), то діапазон вимірювання рівня збільшується на стільки ж у порівнянні з аналогом.

Принцип роботи вимірювальної схеми

Блок-схема вимірювального контролю ультразвукового засобу контролю рівня з кільцевим проходженням сигналу приведена на рис. 2, на якій позначено: 1 - мікроконтролер блоку обробки інформації; 2 - блок перетворення сигналу; 3 - блок пам'яті; 4 - блок індикації; 5 - блок перетворення сигналу; 6 - мікроконтролер; 7 - регульоване джерело імпульсів збудження; 8 - джерело опорної напруги; 9 - компаратор; 10 - блок визначення амплітуди сигналу; підсилювач. Ультразвуковий пристрій працює наступним чином. Після включення ультразвукового пристрою в роботу мікроконтролер 1 видає управляючий сигнал на регулююче джерело імпульсів збудження (РДІЗ), яке формує і видає одиничний ЕЗІ на первинний УЗПП1. Одночасно обнулюється і включається лічильник тактових імпульсів (ЛТІ). При цьому первинний УЗПП1 генерує УЗІ з максимальною амплітудою, який по ізольовані металевій линві направляється до вторинного УЗПП5. Останній створює УЗІ, який одночасно повертається по металевій линві до первинного УЗПП1 і створює реперний сигнал. Після проходження ГС УЗІ сприймається УЗП, в якому створюється ЕРС напругою \dot{a}_{Γ} . Остання після підсилення в підсилювачі напруги 11 подається в компаратор 9, де порівнюється зі заданою опорною напругою $\dot{a}_{0\Gamma}$, яка формується джерелом опорної напруги 7. Якщо різниця цих напруг не дорівнює нулю ($\dot{a}_{\Gamma} - \dot{a}_{0\Gamma} \neq 0$), то компаратор видає сигнал на РДІЗ, який зменшує або збільшує амплітуду одиничного ЕЗІ до тих пір, поки не виконуватиметься рівність $\dot{a}_{\Gamma} - \dot{a}_{0\Gamma} = 0$. Коли $\dot{a}_{\Gamma} - \dot{a}_{0\Gamma} = 0$, то компаратор дає дозвіл мікроконтролеру 6 на включення ЛТІ і розрахунок значення рівня РС. ЛТІ працює до тих пір, поки не поступить на компаратор сприймаючий сигнал наступного такту вимірювання рівня. Цей сигнал запам'ятовується в запам'ятовуючому пристрої 3 мікроконтролера 1, видається команда на припинення роботи ЛТІ та його обнулення. Далі виконується порівняння вимірюваного значення рівня з градуовальною характеристикою, за якою визначається нове значення опорної напруги $e_{0\Gamma}$, котре запам'ятовується для виконання наступного такту вимірювання рівня.

При зміні рівня РС (наприклад, при його збільшенні) поплавок підніметься вгору, відстань R від вторинного УЗПП5 до УЗП зменшиться. За рахунок цього напруга $e_{П}$ сприймаючого сигналу збільшиться, що призведе до того, що різниця між поточним значенням напруги $e_{П}$ і $e_{0П}$ стане більшою нуля. При цьому компаратор відпрацюватиме цю різницю до тих під, поки не установить таку амплітуду ЕЗІ, при котрій різниця напруг $e_{П}$ і $e_{0П}$ стане рівною нулю. При цьому запам'ятовується значення амплітуди ЕЗІ, сприймаючого сигналу $e_{П}$, подається одиничний ЕЗІ на первинний УЗПП1, включається ЛТІ і цикл роботи повторюється.

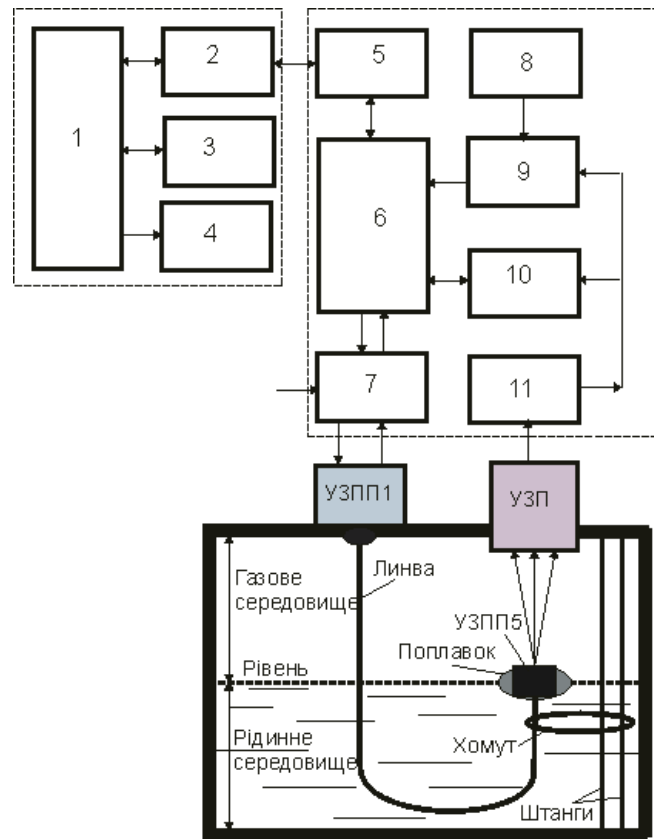


Рисунок2 – Блок-схема вимірювального контролю рівня ультразвуковим засобом з кільцевим проходженням сигналу

Висновки

За рахунок кільцевого проходження ультразвукового сигналу засіб контролю рівня дозволяє зменшити зону нечутливості ультразвукового пристрою контролю рівня РС практично до 5 разів за рахунок відсутності спеціальної реперної пластини та розділення каналів випромінюючого й сприймаючого УЗІ, збільшити діапазон вимірювального контролю рівня РС до 2-х разів за рахунок одноразового проходження УЗІ газового середовища, підвищити точність вимірювального контролю рівня РС практично вдвічі за рахунок: зменшення відстані проходження УЗІ у ГС в 2 рази, зменшення вторинних ультразвукових ефектів всередині резервуару за рахунок відсутності реперної пластини на шляху проходження УЗІ в ГС.

Література

1. Шкарлет Ю.М. Бесконтактные методы ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, 1974. – 57 с.
2. Шрайбер Д.С. Ультразвуковая дефектоскопия. М.: Металлургия, 1965. – 391 с.
3. Ермолов И.Н. Отражение ультразвука от дефектов различной формы. – Дефектоскопия, 1970, №4. – С. 17-24.
4. Бабилов О.И. Контроль уровня с помощью ультразвука. – Л.: Энергия, 1971. – 98 с.
5. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник / Перевод с английского Ю.А. Заболотной под ред. Е.Л. Свинцова. – Москва: Техносфера, 2006. – 592 с.

6. А.Е. Колесников. Ультразвуковые измерения. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 248 с., ил.
 7. Патент (А.С.) 564538, G01F23/28, 21.10.1977 «Ультразвуковой уровнемер с цифровым отсчетом».
 8. Патент (А.С.) 2195635, G01F23/28? 21.02.2002 «Способ измерения уровня жидких и сыпучих сред».
 9. Рябіченко А.В., Стенцель Й.І. Математичні моделі ультразвукового рівнеміра рідини з компенсуючим вхідним сигналом. Вестник национального технического университета «ХПИ», - 2008, № 48. С. – 61 – 65.
 10. Рябіченко А.В., Стенцель Й.І. Математичні моделі ультразвукового рівнеміра рідини з компенсатором вихідних сигналів //Вісник національного технічного університету «ХПИ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Прилади та методи неруйнівного контролю. – Харків: НТУ «ХПИ» - № 48. – 2008. – с. 61-65.
 11. Стенцель Й.І., Рябіченко А.В., Літвінов К.А. Фізичні моделі перетворень в ультразвукових засобах контролю рівня рідинних середовищ. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. «Електроенергетика и преобразовательная техника». – Харків: НТУ «ХПИ» -№19. – 2011. – С. 3-18.
 12. Стенцель Й.І., Євсюков В.В., Шаповалов О.І. Математичні моделі ультразвукового засобу контролю рівня рідинних середовищ за реперним каналом. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. «Електроенергетика и преобразовательная техника». – Харків: НТУ «ХПИ» -№19. – 2011. – С. 19-30.
- Стаття надійшла: 10.10.2013.

Інформація про авторів

Стенцель Йосип Іванович – докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління Технологічного інституту Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Літвінов Костянтин Анатолійович - студент Технологічного інституту Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Рябіченко Антон Вікторович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління Технологічного інституту Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Шаповалов Олексій Іванович – аспірант кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління Технологічного інституту Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.