

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИЙ РІВНЕМІР НА ПРОСТОРОВОМУ БИТТІ



О.Й. Рішан, канд. техн. наук,
С. В. Воронько

Постановка проблеми. Ефективність функціонування будь-якої АСУТП передусім залежить від достовірності інформації про значення основних загальнотехнічних параметрів технологічного процесу, яку отримують за допомогою первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП). Одним із таких параметрів є рівень продукту в ємності, а достовірність інформації ПВП рівня визначається його експлуатаційною похибкою, яка враховує дію всіх чинників (збурень) на рівнемір і враховує всі додаткові похибки. Як правило, експлуатаційна похибка набагато перевищує основну приведену похибку ПВП, яка визначає клас його точності в нормальних умовах експлуатації.

Для компенсації впливу збурень на ПВП і компенсації додаткових похибок використовують різні способи. Найбільш поширеними є способи передачі інформації з просторовим або часовим розділенням сигналу по другому каналу коригування, які дають змогу компенсувати мультиплікативну або адитивну складові додаткової похибки або отримати інваріантним до збурення відношення сигналів вимірюваного і коригованого. Крім того, застосовують тестові методи підвищення точності вимірювань, в яких використовуються зразкові зворотні перетворення сигналу вимірювальної інформації. Основний недолік цих способів – апаратурна надлишковість і низький коефіцієнт компенсації збурень, оскільки вплив фактора компенсується не одночасно з вимірюванням.

Аналіз досліджень і публікацій [2; 3; 4] безконтактних ультразвукових інтерференційних ПВП рівня рідин у газовому середовищі, в яких реалізовано диференціальний метод вимірювання, показують, що в багатьох випадках найефективнішими є структурні (або конструктивні) способи компенсації збурень, що полягають у введенні в ПВП додаткових чутливих елементів, які одночасно утворюють сигнали вимірювальної інформації, але ці сигнали зсунуті по фазі (стосовно вимірюваного параметра) на $\pi/4$, $\pi/2$ або на π радіан. Це дає змогу отримати два вихідні сигнали ПВП, які зі зміною вимірюваного параметра змінюються в протилежних напрямках і які можуть бути ввімкнуті в ланцюг від'ємного зворотного зв'язку замкненої структурної схеми живлення ПВП. При цьому вплив збурення на ПВП компенсується зміною напруги його живлення. Такі конструктивні способи в багатьох випадках дають змогу більш ніж на порядок зменшити додаткові похибки від збурень на ПВП. Основний недолік таких рівнемірів – відносно малий діапазон вимірювання (≈ 4 мм на частоті випромінювання 17–18 кГц); необхідність використання прецизійних підсилювачів і вимірювачів фази стоячої хвилі або амплітуди на приймачі; суттєва нелінійність статичної характеристики ПВП.

Мета статті – розробка і дослідження функціональної схеми рівнеміра на ультразвуковому битті, який за наявності високої роздільної здатності в газовому середовищі,

що характерна для всіх інтерференційних ПВП, надає можливість компенсувати впливи неоднорідності повітряних потоків і їхньої температури на його зону вимірювання за рахунок об'єднання тракту випромінювання і приймання ультразвукових коливань.

Виклад основного матеріалу. Серед ультразвукових інтерференційних методів для вимірювання рівня найбільш перспективним є метод контролю положення поверхні розділу «повітря – рідина» з використанням просторового акустичного биття, яке утворюється в зоні вимірювання між поверхнею «випромінювання – приймання» акустичної головки і контрольованою за рівнем поверхнею [1].

Фактично метод ґрунтується на використанні в зоні вимірювання явища суперпозиції двох стоячих хвиль. Зберігаючи високу роздільну здатність, що притаманна інтерференційним методам на стоячій хвилі, метод дає змогу суттєво знизити вплив навколишнього газового середовища на зону вимірювання і спростити опрацювання інформативного сигналу завдяки використанню його цифрової обробки.

Під час застосування методу (рис. 1) поверхня, контрольована за рівнем речовини, озвучується в неперервному режимі одночасно двома близькими за частотою F_1 і F_2 ультразвуковими коливаннями з утворенням просторового биття між поверхнею речовини і площиною «випромінювання-приймання» акустичної головки, причому вихідну відстань $H_{ВИХ}$ між останніми визначають за формулою:

$$H_{ВИХ} = \frac{L}{m}, \quad (1)$$

де $L = \frac{2\pi}{|K_1 - K_2|}$ – довжина періоду просторового биття;

K_1 і K_2 – хвильові числа компонент ультразвукових коливань, що озвучують поверхню рідини;

$m \leq \frac{L}{H_0}$ – ціле позитивне число, кратне кількості $H_{ВИХ}$, які вміщуються на відстані L ;

$$H_0 = \frac{D_B + 2(D_{П} + \delta)}{4tg\alpha} - \text{мінімально мож-}$$

лива відстань між контрольованою за рівнем поверхнею і площиною «випромінювання – приймання» акустичної головки;

D_B і $D_{П}$ – діаметри випромінюючого і приймаючого перетворювачів;

δ – відстань акустичної розв'язки між останніми;

α – кут розходження випромінювання.

Об'єднання тракту вимірювання-випромінювання двох частот F_1 і F_2 здійснюється одним випромінювачем, який використовується одночасно і як випромінювач ультразвукових коливань і як їхній змішувач.

Суттєвим є те, що на відстані H , дещо більшій ніж $H_{ВИХ}$, тобто в бік $H = \frac{L}{(m-1)}$, частота вихідного сигналу приймача відповідає тільки одному значенню F_1 або F_2 і не змінюється в межах:

$$\frac{L}{m} < H < \frac{L}{(m-1)}. \quad (2)$$

Аналогічне явище відбувається на відстані H , дещо меншій у бік $H = \frac{L}{(m+1)}$, коли частота сигналу приймача відповідає частоті F_2 або F_1 але в межах:

$$\frac{L}{(m+1)} < H < \frac{L}{m}. \quad (3)$$

На відстані, що дорівнює $H_{ВИХ}$ за формулою (1), на приймачі відбувається неперервна зміна частоти F_1 на F_2 і навпаки. Це явище, що виникає на відстанях, кратних вузлу просторової огинаючої, використовується для отримання інформації про знаходження акустичної головки на відстані $H_{ВИХ}$ від контрольованої за рівнем поверхні (рис. 2).

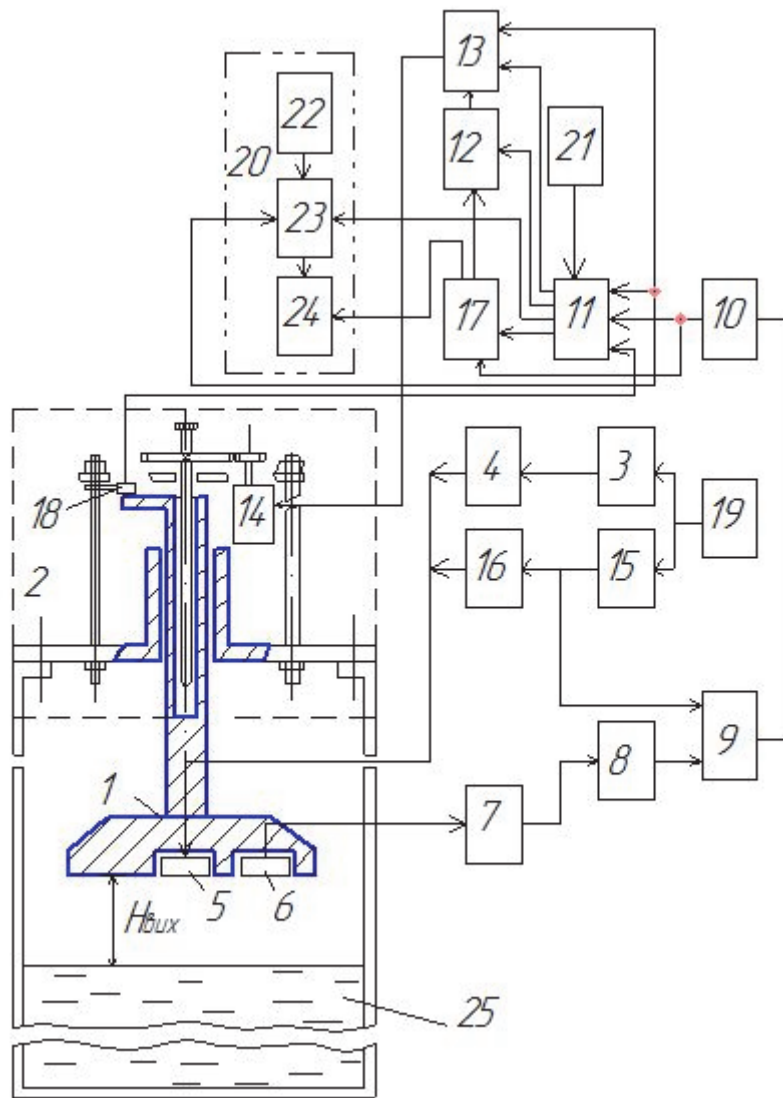


Рис. 1. Функціональна схема ультразвукового інтерференційного рівнеміра на просторовому битті

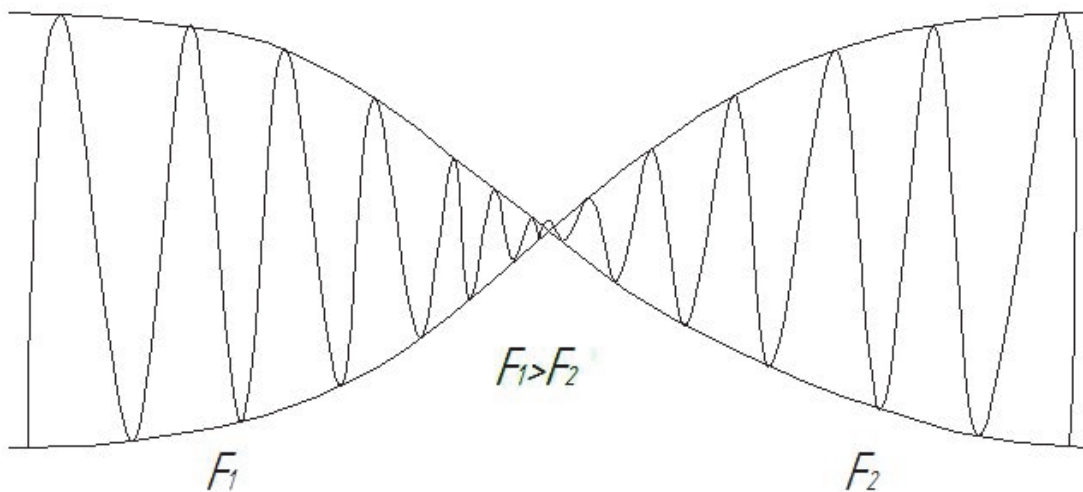


Рис.2. Осцилограма зміни частоти ультразвукового сигналу приймача на відстані $H_{BUX} = \frac{L}{m}$, що кратна вузлу просторової огинаючої

Фіксація відстані $H_{ВИХ}$ здійснюється за допомогою дискретної схеми визначення різниці частот F_1 і F_2 .

Механічна частина рівнеміра (дивись рис. 1) містить акустичну головку 1, в якій розташовані випромінювач 5 і приймач 6 ультразвукових коливань, а також механічний вузол 2 переміщення акустичної головки з кроковим двигуном 14 і кінцевим вимикачем 18 фіксації акустичної головки в крайньому верхньому вихідному положенні. Передавальне число механічного вузла 2 розраховане таким чином, що одному імпульсу на обертання крокового двигуна 14 відповідає переміщення телескопічної труби з акустичною головкою 1 на 1 мкм. П'єзокерамічні випромінювач 5 і приймач 6 розміщуються в площині акустичної головки 1 діаметром D : $D \geq D_B + 2(D_{II} + \delta)$, а зону вимірювання рівнеміра утворюють установленим площини «випромінювання – приймання» ультразвукових коливань акустичної головки 1 паралельно поверхні, наприклад рідини, рівень якої вимірюється в резервуарі 25.

Електронна частина містить високочастотний кварцовий генератор 19 з двома роздільниками частоти 3 і 15, коефіцієнти розділення яких вибрані таким чином, що різниця частот на їхніх виходах становить не більше 400 Гц, а середнє значення частот відповідає резонансній частоті випромінювача 5 і приймача 6. Окрім цього для випромінювання ультразвукових коливань використовуються два генератори – підсилювачі 4 і 16, які вміщують розв'язувальні вихідні трансформатори, що паралельно підключені до випромінювача, і які забезпечують одночасне випромінювання і змішування ультразвукових коливань у зоні вимірювання з виникненням просторового биття.

Фіксація знаходження акустичної головки на відстані за залежністю (1) здійснюється за сигналом приймача 6, який після підсилення в підсилювачі 7 і дискретного перетворення

компаратором 8, надходить на схему 9 визначення різниці частот, на другий вхід якої подається частота F_1 із подільвача 15 і яка має бути більшою за частоту F_2 . Якщо відстань H не дорівнює $H_{ВИХ}$, то на виході приймача 6 присутня одна з частот F_1 або F_2 і відповідно різниця частот на виході схеми 9 дорівнює нулю або різниці $(F_1 - F_2)$.

Дві умови $[\frac{L}{(m-1)} > H > H_{ВИХ}]$ та $[\frac{L}{(m+1)} < H < H_{ВИХ}]$ визначають зону захвату акустичного тракту вимірювання, під час виконання яких забезпечується однозначне виведення площини «випромінювання-приймання» ультразвукових коливань акустичної головки 1 на відстань $H_{ВИХ}$ від поверхні рідини, рівень якої вимірюється, і відповідно максимально можливе стрибкоподібне відхилення рівня рідини від його номінального значення, яке спроможне відпрацювати рівнемір.

Сигнал з виходу схеми 9 надходить на демодулятор 10, де перетворюється в дискретний сигнал [наприклад, логічну 1, якщо різниця частот на виході схеми 9 дорівнює нулю, або логічний 0, якщо різниця має значення $(F_1 - F_2)$]. На відстані $H_{ВИХ}$, коли має місце неперервний перехід частоти на виході приймача 6 від значення F_1 до F_2 і навпаки, відбувається також неперервна зміна дискретного сигналу демодулятора 10 із одиниці в нуль і навпаки, що використовується для фіксації результату вимірювання.

Вихід демодулятора керує схемою синхронізації 11 і блоком часової витримки 17. Блок 17 призначений для зупинки і встановлення в нуль частоти генератора 12 імпульсів на обертання крокового двигуна 14 через схему 13 керування ним, а також для фіксації результату вимірювання на індикатор 24. Після закінчення терміну витримки блока 17 і за наявності стабільного дискретного сигналу на виході демодулятора 10 (нуль або одиниця), чим визначається необхідний напрямок

переміщення акустичної головки, відбувається запуск генератора 12 з плавним зростанням його частоти, що спричинює плавне переміщення акустичної головки на відстань $H_{ВИХ}$.

Схема 13 керування кроковим двигуном включає в себе реверсивний двійковий лічильник і дешифратор, які забезпечують необхідну послідовність почергового надходження керуючих імпульсів на фазах крокового двигуна 14 для правого чи лівого обертання в разі виконання умов (2) і (3).

Рівнемір працює так: механічний вузол 2 жорстко фіксують над поверхнею рідини, рівень якої вимірюють, і площиною «випромінювання-приймання» ультразвукових коливань акустичної головки 1 паралельно цій поверхні. На задавачі 22 попереднього встановлення встановлюється число, при якому після отримання результату вимірювання індикатор 24 буде показувати число, яке відповідає рівню вимірюваної рідини.

Якщо акустична головка при ввімкненні рівнеміра і не знаходиться у верхньому вихідному положенні, то схема синхронізації через схему 13 керування генератора 12 керує обертанням двигуна 14 в напрямку переміщення головки вгору до спрацювання кінцевого вимикача 18, який фіксує її положення в цьому стані. Якщо перемикач 21 знаходиться в положенні «вихідний стан», то рівнемір (його акустична головка) знаходиться в цьому положенні до моменту переведення перемикача в положення «вимірювання». З цього моменту синхронізатор 11 перезаписує уставку задавача 22 у реверсивний лічильник 23, видає напрямок обертання двигуна 14 і запускає генератор 12 імпульсів розгону, який через схему керування 13 і двигун 14 опускає головку 1 на відстань $H_{ВИХ}$ від поверхні контрольованої за рівнем рідини.

Одночасно випромінювач 5 збуджується ультразвуковими генераторами-підсилювачами 4 і 16 на близьких частотах, що спричинює утворення в зоні вимірювання двох стоячих, які внаслідок їхньої суперпозиції зумовлюють

в зоні вимірювання просторове акустичне биття, яке діє на приймач 6. По ланцюгу приймач 6 – підсилювач 7 – компаратор 8 – схема 9 віднімання частот – демодулятор 10 відбувається виділення інформативного сигналу про відхилення відстані між площиною «випромінювання-приймання» акустичної головки 1 і поверхнею рідини, рівень якої вимірюється, від значення $H_{ВИХ}$.

Під час руху акустичної головки 1 за допомогою механічного вузла 2 вниз імпульси, які відпрацьовані кроковим двигуном 14 через схему керування 13, віднімаються в реверсивному лічильнику від введеної уставки, а при русі головки вгору – додаються. Переміщення акустичної головки і накопичування або віднімання імпульсів у лічильник 23 відбувається до тих пір, поки площина «випромінювання-приймання» акустичної головки не буде на відстані $H_{ВИХ}$.

Отже, за допомогою акустичної головки постійно відслідковується положення поверхні, контрольованої за рівнем рідини (зростання рівня або його зменшення), а на відстані $H_{ВИХ}$ завдяки імпульсу блоку 17 фіксується фактичне значення рівня на індикаторі 24.

Як видно із залежності (1), відстань $H_{ВИХ}$ визначається при вибраному числі m тільки довжиною L періоду огинаючої просторового биття. Оскільки величина L залежить тільки від різниці хвильових чисел K_1 і K_2 кожної з випромінюваних частот ультразвукових коливань, а випромінювання та приймання обох частот здійснюється одночасно одним випромінювачем (за незмінних частот задаючих генераторів) і одним приймачем, тобто обидва випромінювання розповсюджуються в одному акустичному тракті зони вимірювання, приріст значення хвильових чисел K_1 і K_2 (близьких між собою і зв'язаних із зміною їхньої довжини хвиль), теж однакові щодо величини і знаку. Унаслідок цього різниця хвильових чисел K_1 і K_2 за модулем і відповідно довжина L практично не змінюються, що сприяє автоматичній компенсації впливу

вітрових потоків і зміни температури в зоні вимірювання на результат вимірювання рівня.

Висновки

Рівнемір на ультразвуковому просторовому битті доцільно використовувати в разі застосування диференціального методу вимірювання рівня в газовому середовищі, тобто для вимірювання відхилення рівня рідини від заданого номінального значення. Завдяки його використанню забезпечується роздільна здатність вимірювання 0,01 мм з абсолютною похибкою вимірювання відхилення відстані в повітрі не більше $\pm 0,1$ мм. Можливим є застосування такого рівнеміра для контролю інших параметрів технологічних процесів, зо-

крема для вимірювання в повітрі товщини напівфабрикатів, що легко деформуються, тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Рішан О.Й.* Аналіз та розробка методу вимірювання рівня речовин в повітрі на просторових ультразвукових биттях / О.Й. Рішан // Автоматизація виробничих процесів. – 2006. – № 1(22). – С. 10–13.
2. *Рішан О.Й., Бородкіна Ю.Н.* Дослідження основних параметрів ультразвукових інтерференційних рівнемірів на стоячій хвилі / О.Й. Рішан, Ю.Н. Бородкіна // Науковий журнал «НТІ». – 2012. – №1. – С. 56–59.
3. Похибки ультразвукового інтерференційного рівнеміра на стоячій хвилі в системі нормалізації молока в ємностях та методи їх усунення: матеріали ХІХ Міжнар. конф. з автоматичного управління [«Автоматика – 2012»] – К.: НУХТ, 2012. – С. 246–247.
4. А.с. 1047268. Ультразвукової інтерферометричний толщиномір / *А.И. Ришан* // Открытия. Изобретения. – 1989. – БИ №19.

УДК 621.313

СИСТЕМНИЙ СИНТЕЗ ТРАНСФОРМАТОРА, ЯКИЙ ПЕРЕДАЄ ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ ТІЛЬКИ В ОДНОМУ НАПРЯМКУ



В.О. Тарасов, докт. техн. наук,
В.О. Ручкін, канд. техн. наук,
М.М. Добrivечер

Постановка проблеми. Звичайний трансформатор передає електричну енергію однаково ефективно як з первинної обмотки у вторинну, так і з вторинної обмотки – в первинну. Унаслідок цієї властивості трансформатори, передаючи енергію від мережі до споживача, передають у мережу й перешкоди, створювані електричними приладами споживача [1; 2]. Для зменшення таких перешкод між мережею і споживачем установлюють загороджувальні фільтри різних конструкцій, унаслідок чого втрачається частина енергії, яка підводиться до електроприладів споживача.

Для запобігання попаданню в електричну мережу перешкод, створюваних електричними приладами споживача, можуть бути створені трансформатори, які передають електричну енергію тільки в одному напрямку: з первинної обмотки у вторинну.

Такий підхід до вирішення цієї проблеми у відомій авторам літературі не зустрічався.

Мета статті – розглянути альтернативний шлях захисту локальної мережі від перешкод, створюваних електроприладами споживача, теоретично обґрунтувати можливість створення трансформатора, що передає електричну