



УКРАЇНА

(19) UA (11) 34512 (13) C2

(51) 7 G01F1/66

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ФАЗОВИЙ СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПОТОКІВ РІДКИХ ТА ГАЗОПОДІБНИХ РЕЧОВИН У ТРУБОПРОВОДІ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

(21) 99020946

(22) 18.02.1999

(24) 15.03.2001

(46) 15.03.2001, Бюл. №2, 2001 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Здоренко Валерій Георгійович, Іващенко Григорій Олексійович

(73) ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ, ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ВІКТОРІЯ"

(56) Патент UA № 13792, 1992.

(57) 1. Ультразвуковий фазовий спосіб визначення витрати потоків рідких та газоподібних речовин у трубопроводі, що полягає в тому, що збуджують високочастотні електричні коливання, піддають їх односмуговій модуляції низькочастотними електричними коливаннями з позитивним зсувом частоти, перетворюють в ультразвукові коливання, випромінюють ультразвукові коливання в потік, що контролюється, під кутом в напрямку його руху, приймають і перетворюють ультразвукові коливання в електричні, вимірюють фазові зсуви прийнятих коливань по відношенню до випромінюваних, після цього змінюють знак зсуву частоти на від'ємний і водночас змінюють напрямок розповсюдження ультразвукових коливань на протилежний, вимірюють фазові зсуви прийнятих коливань, порівнюють фазові зсуви, змінюють частоту модулюючих коливань до отримання рівності фазових зсувів, що порівнюються, і вимірюють значення частоти модулюючих електричних коливань, за яким судять про витрату, який **відрізняється** тим, що додатково визначають суму фазових зсувів, що порівнюються, і змінюють частоту високочастотних електричних коливань до досягнення фазовими зсувами, що порівнюються, нульових значень, а витрату Q визначають за наступною формулою:

$$Q = \frac{k\pi D^3}{2n \sin 2\theta} F,$$

де k – коефіцієнт, рівний відношенню середніх швидкостей потоку по довжині акустичної бази L та діаметра D трубопроводу;

D – діаметр трубопроводу;

θ – кут між напрямком розповсюдження ультразвукових коливань та напрямком потоку;

n – постійне ціле число, рівне числу довжин ультразвукових хвиль на базі L;

F – частота модулюючих електричних коливань.

2. Ультразвуковий фазовий пристрій визначення витрати, що містить високочастотний генератор, чотири автоматичних комутатори, входи першого з яких з'єднані з однойменними входами другого автоматичного комутатора, до яких підключені відповідно випромінювач та приймач акустичного перетворювача, вихід другого автоматичного комутатора з'єднаний з послідовно включеними підсилювачем з автоматичним регулюванням підсилення, фазовим детектором і фільтром верхніх частот, мультівібратор, до виходів якого підключені керувальні входи першого та другого автоматичних комутаторів, регульований двофазний генератор низької частоти, цифровий частотомір, підключений до одного з виходів регульованого двофазного генератора низької частоти, односмуговий фазокомпенсаційний модулятор, вхід якого підключений до виходу високочастотного генератора, а вихід з'єднаний з входом першого автоматичного комутатора та другим входом фазового детектора, однойменні входи третього та четвертого автоматичних комутаторів з'єднані між собою та підключені до виходів регульованого двофазного генератора низької частоти, а виходи з'єднані з керувальними входами односмугового фазокомпенсаційного модулятора, керувальний вхід третього автоматичного комутатора з'єднаний з керувальним входом першого автоматичного комутатора, керувальний вхід четвертого автоматичного комутатора з'єднаний з керувальним входом другого автоматичного комутатора, послідовно з'єднані підсилювач змінної напруги, двонапівперіодний фазочутливий випрямляч та інтегратор, вхід підсилювача змінної напруги з'єднаний з виходом фільтра верхніх частот, вихід інтегратора з'єднаний з керувальним входом регульованого двофазного генератора низької частоти, керувальні входи двонапівперіодного фазочутливого випрямляча підключені до виходів мультівібратора, який **відрізняється** тим, що в нього введені фільтр нижніх частот, підсилювач постійної напруги та другий інтегратор, а високочастотний генератор виконаний регульованим по частоті, при цьому вхід фільтра нижніх частот підключений безпосередньо до виходу фазового детектора, до його виходу підключені послідовно з'єднані підсилювач постійної напруги та другий інтегратор, вихід якого з'єднаний з керувальним входом високочастотного генератора.

(19) UA (11) 34512 (13) C2

Винахід відноситься до галузі виміру витрати потоків рідких та газоподібних потоків речовин у трубопроводі шляхом пропускання ультразвукових коливань у напрямку потоку за та проти нього, та може бути використаний для підвищення точності фазових ультразвукових витратомірів при вимірі витрати рідких та газоподібних речовин у хімічній, легкій та інших галузях промисловості.

Серед ультразвукових витратомірів рідких та газоподібних потоків речовин найбільш широке застосування знайшли фазові витратоміри, в яких використовується залежність швидкості розповсюдження ультразвукових коливань (УЗК) від швидкості руху середовища розповсюдження. Фаза УЗК дуже чутлива до зміни швидкості розповсюдження і тому найбільш інформативна до зміни витрати різноманітних речовин, які переміщуються за допомогою трубопроводного транспорту.

Відомий ультразвуковий фазовий спосіб визначення витрати (див. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. Справочник – 4-е изд. – Л.: Машиностроение. Ленинград, отделение, 1989, стр. 453–455), що полягає в тому, що високочастотні електричні коливання перетворюють в ультразвукові коливання, випромінюють ультразвукові коливання в потік під кутом Q в напрямку його руху, приймають і перетворюють ультразвукові коливання в електричні, вимірюють фазовий зсув прийнятих коливань по відношенню до випромінюваних, після цього змінюють напрям розповсюдження ультразвукових коливань на протилежне, вимірюють фазовий зсув прийнятих коливань по відношенню до випромінюваних, порівнюють отримані фазові зсуви та по їх різниці $\varphi_1 - \varphi_2$ визначають витрату Q по формулі

$$Q = \frac{\pi D k \theta C^2}{8\omega} (\varphi_1 - \varphi_2),$$

де k – коефіцієнт, що дорівнює відношенню середніх швидкостей потоку по довжині акустичної бази L і діаметру D трубопроводу;

C – швидкість розповсюдження ультразвуку в непорушній речовині потоку;

θ – кут між напрямком потоку і напрямком променю ультразвуку;

D – діаметр трубопроводу;

ω – кругова частота ультразвукових коливань.

Завдяки черговості порівняння фазових зсувів виключається вплив несиметрії електроакустичних перетворювачів, а також несиметрії фазочастотних характеристик фазовимірювальної схеми. Однак неминучі зміни частоти УЗК, а також вплив змін швидкості C розповсюдження УЗК у контрольованій речовині на результат вимірів не дозволяють одержати високу точність, необхідну у сучасному виробництві.

Відомий також ультразвуковий фазовий спосіб визначення витрати [по патенту України №13792, МКВ G01F1/66, бюл. №2, 1997 р.], що полягає в тому, що збуджують високочастотні електричні коливання, наражають їх односмуговій модуляції низькочастотними електричними коливаннями з позитивним зсувом частоти, перетворюють в ультразвукові коливання, випромінюють ультраз-

вукові коливання в потік, що контролюється, під кутом в напрямку його руху, приймають і перетворюють ультразвукові коливання в електричні, вимірюють фазові зсуви прийнятих коливань по відношенню до випромінюваних, після цього змінюють знак зсуву частоти на негативний і водночас змінюють напрям розповсюдження ультразвукових коливань на протилежний, вимірюють фазові зсуви прийнятих коливань, порівнюють фазові зсуви, змінюють частоту модулюючих коливань до отримання рівності фазових зсувів, що порівнюються, і вимірюють значення частоти модулюючих електричних коливань, по якій судять про витрату. Витрату визначають по слідуючій формулі

$$Q = \frac{k\pi D^2 C}{4f \cos \theta} F,$$

де k – коефіцієнт, рівний відношенню середніх швидкостей потоку по довжині акустичної бази L та діаметру D трубопроводу;

D – діаметр трубопроводу;

θ – кут між напрямком розповсюдження ультразвукових коливань та потоком;

F – частота модулюючих електричних коливань;

f – частота електричних високочастотних коливань;

C – швидкість розповсюдження ультразвукових коливань в непорушній речовині потоку.

У відомому способі вплив непостійності швидкості розповсюдження УЗК C знижений, бо до розрахункової формули швидкість C входить не в квадраті, а тільки в першому ступені. Однак і цей спосіб не забезпечує високої точності, бо вплив змін швидкості розповсюдження УЗК у непорушній речовині потоку на результат вимірів повністю не виключається. Крім того, істотна похибка виникає із-за неминучої нестабільності частоти ω УЗК.

Відомий пристрій для виміру витрати [див. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. Справочник. – 4-е изд. – Л.: Машиностроение. Ленинград. отделение, 1989, стр. 453–455], який містить високочастотний генератор фіксованої частоти, до виходу якого крізь два комутатори, що управляються мультівібратором, підключені випромінювач та приймач ультразвукового перетворювача, пристрій регулювання фази, а також послідовно з'єднані підсилювач з автоматичним регулюванням підсилення, фазовий детектор, фільтр нижніх частот та вимірювальний пристрій.

Відомий пристрій визначає витрату з невисокою точністю, обумовленою впливом змін акустичної бази L та квадрату швидкості розповсюдження ультразвуку C^2 у середовищі на результат вимірів. У процесі безперервної експлуатації ультразвукових витратомірів неминучі зміни акустичної бази внаслідок вібрації, ударів у трубопроводах, змін температури і тиску потоку, що контролюється, і т.і. Залежність різниці фазових зсувів, що вимірюються, від квадрату швидкості розповсюдження ультразвукових коливань у середовищі, робить відомий пристрій дуже чутливим до температурних змін потоку, що контролюється, і коливань його щільності. Крім того, точність виміру фазових зсу-

вів у виробничих умовах недостатньо велика внаслідок нестабільності фазових характеристик каналів електронного фазометра від змін температури, частоти, перекрученні форми кривих сигналів, що порівнюються по фазі і т.і.

Відомий також ультразвуковий фазовий пристрій визначення витрати [по патенту України № 13792, МКВ G01F1/66, 1992, бюл. № 2, 1997 р.], що містить високочастотний генератор, чотири автоматичних комутатора, входи першого з яких з'єднані з однойменними входами другого автоматичного комутатора, до яких підключені випромінювач та приймач акустичного перетворювача, вихід другого автоматичного комутатора з'єднаний з послідовно включеними підсилювачем з автоматичним регулюванням підсилення, фазовим детектором і фільтром верхніх частот, мультівібратор, до виходів якого підключені керувальні входи першого та другого комутаторів, регульований двофазний генератор низької частоти, цифровий частотомір, підключений до одного з виходів регульованого двофазного генератора низької частоти, односмуговий фазокомпенсаційний модулятор, вхід якого підключений до виходу високочастотного генератора, а вихід з'єднаний з входом першого автоматичного комутатора та другим входом фазового детектора, однойменні входи третього та четвертого автоматичних комутаторів з'єднані між собою та підключені до виходів регульованого двофазного генератора низької частоти, а виходи з'єднані з керувальними входами однополосного фазокомпенсаційного модулятора, керувальний вхід третього автоматичного комутатора з'єднаний з керувальним входом першого автоматичного комутатора, керувальний вхід четвертого автоматичного комутатора з'єднаний з керувальним входом другого автоматичного комутатора, послідовно з'єднані підсилювач змінної напруги, двохлапівперіодний фазочутливий випрямляч та інтегратор, вхід підсилювача змінної напруги з'єднаний з виходом фільтра верхніх частот, вихід інтегратора з'єднаний з керувальним входом регульованого двофазного генератора низької частоти, керувальні входи двохлапівперіодного фазочутливого випрямляча підключені до виходів мультівібратора.

Однак відомий пристрій не забезпечує високої точності визначення витрати речовин. Це пояснюється залежністю показань пристрою від неминучих змін частоти високочастотних коливань та зміни швидкості розповсюдження УЗК у середовищі потоку, що контролюється. Крім того, цей пристрій є достатньо складним в обслуговуванні, бо вимагає внесення поправок на зміну швидкості розповсюдження УЗК від температури, щільності, хімічного складу речовини потоку, що контролюється, і т.і.

В основу винаходу покладена задача створити такі спосіб і пристрій визначення витрати, в яких введення нових операцій і нового співвідношення для визначення витрати в способі, введення нових елементів та їх зв'язків між собою і з відомими в пристрої дозволили б зменшити вплив дестабілізуючих чинників на точність визначення швидкості потоку речовини, завдяки чому підвищується точність виміру витрати у широкому діапазоні значень.

Поставлена задача вирішується тим, що в ультразвуковий фазовий спосіб визначення витрати, що полягає в тому, що збуджують високочастотні електричні коливання, піддають їх односмуговій модуляції низькочастотними електричними коливаннями з позитивним зсувом частоти, перетворюють в ультразвукові коливання, випромінюють ультразвукові коливання в потік, що контролюється, під кутом в напрямку його руху, приймають і перетворюють ультразвукові коливання в електричні, вимірюють фазові зсуви прийнятих коливань по відношенню до випромінюваних, після цього змінюють знак зсуву частоти на від'ємний і водночас змінюють напрямок розповсюдження ультразвукових коливань на протилежний, вимірюють фазові зсуви прийнятих коливань, порівнюють фазові зсуви, змінюють частоту модулюючих коливань до отримання рівності фазових зсувів, що порівнюються, і вимірюють значення частоти модулюючих електричних коливань, за яким судять про витрату, згідно з винаходом додатково визначають суму фазових зсувів, що порівнюються, і змінюють частоту високочастотних електричних коливань до досягнення фазовими зсувами, що порівнюються, нульових значень, а витрату Q визначають за наступною формулою

$$Q = \frac{k\pi D^3}{2n \sin \theta} F$$

де k – коефіцієнт, рівний відношенню середніх швидкостей потоку по довжині акустичної бази L та діаметру D трубопроводу;

D – діаметр трубопроводу;

θ – кут між напрямком розповсюдження ультразвукових коливань та напрямком потоку;

n – постійне ціле число, рівне числу довжин ультразвукових хвиль на базі L ;

F – частота модулюючих електричних коливань.

Поставлена задача вирішується також тим, що в ультразвуковий фазовий пристрій визначення витрати, що містить високочастотний генератор, чотири автоматичних комутатора, входи першого з яких з'єднані з однойменними входами другого автоматичного комутатора, до яких підключені відповідно випромінювач та приймач акустичного перетворювача, вихід другого автоматичного комутатора з'єднаний з послідовно включеними підсилювачем з автоматичним регулюванням підсилення, фазовим детектором і фільтром верхніх частот, мультівібратор, до виходів якого підключені керувальні входи першого та другого комутаторів, регульований двофазний генератор низької частоти, цифровий частотомір, підключений до одного з виходів регульованого двофазного генератора низької частоти, односмуговий фазокомпенсаційний модулятор, вхід якого підключений до виходу високочастотного генератора, а вихід з'єднаний з входом першого автоматичного комутатора та другим входом фазового детектора, однойменні входи третього та четвертого автоматичних комутаторів з'єднані між собою та підключені до виходів регульованого двофазного генератора низької частоти, а виходи з'єднані з керувальними входами односмугового фазоком-

пенсаційного модулятора, керувальний вхід третього автоматичного комутатора з'єднаний з керувальним входом першого автоматичного комутатора, керувальний вхід четвертого автоматичного комутатора з'єднаний з керувальним входом другого автоматичного комутатора, послідовно з'єднані підсилювач змінної напруги, двохнапівперіодний фазочутливий випрямляч та інтегратор, вхід підсилювача змінної напруги з'єднаний з виходом фільтра верхніх частот, вихід інтегратора з'єднаний з керувальним входом регульованого двофазного генератора низької частоти, керувальні входи двохнапівперіодного фазочутливого випрямляча підключені до виходів мультивібратора, згідно з винаходом введені фільтр нижніх частот, підсилювач постійної напруги та другий інтегратор, а високочастотний генератор виконаний регульованим по частоті, при цьому вхід фільтра нижніх частот підключений безпосередньо до виходу фазового детектора, до його виходу підключені послідовно з'єднані підсилювач постійної напруги та другий інтегратор, вихід якого з'єднаний з керувальним входом високочастотного генератора.

Саме введення в спосіб нової операції по визначенню суми фазових зсувів, що порівнюються, і додаткової зміни частоти високочастотних електричних коливань до досягнення нульових значень кожного з фазових зсувів, забезпечує кратність довжини акустичної хвилі акустичній базі при будь-яких змінах швидкості розповсюдження УЗК в речовині потоку, що контролюється, а введення в функціональну схему пристрою додаткового ланцюга автопідстройки частоти високочастотних коливань, що складається з фільтра нижніх частот, підсилювача постійної напруги та другого інтегратора, забезпечує автоматичне підтримання умови кратності довжини хвилі довжині акустичної бази, що дає можливість при розрахунку витрати по новій формулі виключити необхідність введення поправок на дестабілізуючі чинники і дозволяє тим самим зменшити їх вплив на визначення швидкості потоку речовини, завдяки чому підвищується точність визначення витрати.

На фіг. 1 наведена функціональна схема ультразвукового фазового пристрою для визначення витрати, а на фіг. 2 – функціональна схема односмугового модулятора пристрою.

Пристрій для визначення витрати містить високочастотний генератор 1 регульованої частоти, який крізь односмуговий фазокомпенсаційний модулятор 2, перший 3 та другий 4 автоматичні комутатори з'єднаний з входом підсилювача 5 з автоматичним регулюванням підсилення. Входи першого автоматичного комутатора 3 з'єднані з однойменними входами другого автоматичного комутатора 4, до яких підключені відповідно випромінювач 6 та приймач 7 акустичного перетворювача 8. Вихід підсилювача 5 з'єднаний з одним з входів фазового детектора 9, другий вхід якого з'єднаний з виходом односмугового модулятора 2. До виходу фазового детектора 9 підключені послідовно з'єднані фільтр 10 верхніх частот, підсилювач 11 змінної напруги, двохнапівперіодний фазочутливий випрямляч 12 та перший інтегратор 13, вихід якого з'єднаний з керувальним

входом регульованого двофазного генератора 14 низької частоти. Виходи регульованого двофазного генератора 14 низької частоти з'єднані з однойменними входами третього 15 та четвертого 16 автоматичних комутаторів, виходи яких з'єднані з керувальними входами односмугового фазокомпенсаційного модулятора 2. Керувальні входи другого 4 та четвертого 16 автоматичних комутаторів підключені до одного виходу мультивібратора 17, а керувальні входи першого 3 та третього 15 автоматичних комутаторів підключені до іншого виходу мультивібратора 17. Керувальні входи двохнапівперіодного фазочутливого випрямляча 12 з'єднані із виходами мультивібратора 17. До одного з виходів регульованого двофазного генератора 14 низької частоти підключений вхід цифрового частотоміра 18. До виходу фазового детектора 9 також підключені послідовно з'єднані фільтр 19 нижніх частот, підсилювач 29 постійної напруги та другий інтегратор 21, вихід якого з'єднаний із керувальним входом високочастотного генератора 1.

Односмуговий модулятор 2 включає (фіг.2) високочастотний квадратурний фазорозщеплювач 22, вхід якого підключений до виходу генератора 1, балансні модулятори 23 та 24 і диференціальний підсилювач 25, вихід якого є виходом односмугового модулятора 2.

Ультразвуковий спосіб визначення витрати речовин здійснюється наступним чином.

Високочастотні електричні коливання $U_1 = U_{m1} \cos \omega t$ генератора 1 (фіг.1) регульованої частоти ω наражаються односмуговій модуляції низькочастотними електричними коливаннями $U_1' = U_{m2} \cos \Omega t$ та $U_2' = U_{m2} \sin \Omega t$ (фіг.1). В результаті односмугової модуляції висока частота електричних коливань збільшується або зменшується на величину низької модулюючої частоти Ω .

При використанні фазокомпенсаційного односмугового модулятора 2 (фіг. 2) коливання сумарної $\omega + \Omega$ або різностної $\omega - \Omega$ частот формуються в результаті віднімання балансно модульованих коливань в залежності від напрямку чергування фаз низькочастотних модулюючих напруг, зсу-

нутих по фазі на $\frac{\pi}{2}$ (90°). При зміні напрямку чергування фаз квадратурних модулюючих напруг автоматичними комутаторами 15 та 16 змінюється і знак прирощення частоти ("+" на "-", або навпаки) без зміни амплітуди зсунутих по частоті високочастотних напруг на виході диференціального підсилювача 25, в якому виконується операція віднімання напруг.

Зсунуті по частоті електричні коливання перетворюють в УЗК, що випромінюють в текуче середовище (рідину або газ) під кутом до напрямку потоку в акустичному перетворювачі 8. Якщо звуковий промінь направлений в сторону руху потоку, то швидкість розповсюдження УЗК зростає до значення

$$C_1 = C + V_L \cos \theta \quad (1)$$

При протилежному направленні ультразвукового променя швидкість розповсюдження УЗК зменшується до значення

$$C_2 = C - V_L \cos \theta \quad (2)$$

Знак зсуву частоти високочастотних коливань вибирають позитивним при розповсюдженні УЗК в напрямку руху потоку і негативним при протилежному напрямку. Приймачом 7 УЗК знов перетворюються в електричні напруги.

Якщо направлення розповсюдження УЗК і потоку співпадають, то фазові зсуви прийнятих електричних коливань по відношенню до випромінюваних при проходженні УЗК відстані L між випромінювачем та приймачем визначаються співвідношенням довжини ультразвукової хвилі λ та акустичної бази L . Якщо відстань L більше довжини ультразвукової хвилі λ ($L > \lambda$), то маємо

$$\Phi_1 = \frac{(\omega + \Omega)L}{C + V_L \cos \theta} = 2\pi n + \varphi_1, \quad (3)$$

де φ_1 – дробова частина повного фазового зсуву;

n – число фазових циклів в 2π , що визначає кількість довжин хвиль УЗК на довжині L .

Перетворюють дробову частину фазового зсуву φ_1 за допомогою фазового детектора 9 в напругу. Змінюють напрямок розповсюдження УЗК на протилежне за допомогою першого та другого комутаторів 3 та 4 відповідно. Водночас з цим змінюють знак зсуву частоти на негативний за допомогою третього та четвертого комутаторів 15 та 16 відповідно. Так як $V_L \cos \theta$ звичайно багато менше швидкості C розповсюдження УЗК ($V_L \cos \theta \ll C$), то зміни фазового зсуву відбуваються в межах одного фазового циклу (2π). Тому повний фазовий зсув приймає значення

$$\Phi_2 = \frac{(\omega - \Omega)L}{C - V_L \cos \theta} = 2\pi n + \varphi_2, \quad (4)$$

де φ_2 – дробова частина нового значення повного фазового зсуву.

Перетворюють дробову частину фазового зсуву φ_2 за допомогою фазового детектора 9 в напругу. Порівнюють напруги, пропорційні дробовим частинам фазових зсувів φ_1 та φ_2 . В випадку нерівності їх значень ($\varphi_2 \neq \varphi_1$) плавно змінюють частоту модулюючих коливань регульованого двохфазного генератора 14 в напрямку їх порівняння

$$\Phi_1(\omega + \Omega) = \Phi_2(\omega - \Omega), \quad (5)$$

і вимірюють частоту Ω модулюючих коливань.

З умови рівності (5) з урахуванням виразів (3) та (4) одержують

$$\frac{(\omega + \Omega)}{C - V_L \cos \theta} = \frac{(\omega - \Omega)}{C + V_L \cos \theta}. \quad (6)$$

З рівняння (6) знаходять значення середньої швидкості потоку

$$V_L = \frac{\Omega}{\omega \cos \theta} C = \frac{F}{f} \frac{C}{\cos \theta}, \quad (7)$$

де f та F – частота відповідно високочастотних та низькочастотних електричних коливань.

Для виключення впливу непостійності швидкості розповсюдження УЗК C на результат виміру визначають суму дробових частин фазових зсувів, що порівнюються. Сумарний фазовий зсув з урахуванням виразів (3) та (4) має значення

$$\varphi_1 + \varphi_2 = \frac{(\omega + \Omega)L}{C + V_L \cos \theta} + \frac{(\omega - \Omega)L}{C - V_L \cos \theta} - 4\pi n. \quad (8)$$

Додатково регулюють високу частоту f високочастотного генератора 1 до одержання нульового значення сумарного фазового зсуву ($\varphi_1 + \varphi_2 = 0$). При цьому одержують

$$\frac{(\omega + \Omega)L}{C + V_L \cos \theta} + \frac{(\omega - \Omega)L}{C - V_L \cos \theta} = 4\pi n. \quad (9)$$

Так як зміною низької частоти F досягається рівність абсолютних значень фазових зсувів, що порівнюються (φ_1 та φ_2), то за допомогою підстроики високої частоти f забезпечується досягнення ними нульових значень ($\varphi_1 = \varphi_2 = 0$). Після математичних перетворень одержуємо співвідношення

$$\frac{\omega C - \Omega V_L \cos \theta}{C^2 - V_L^2 \cos^2 \theta} = \frac{2\pi n}{L}. \quad (10)$$

Нехтуючи членами другого порядку малості, одержуємо

$$\frac{\omega C}{C^2} = \frac{2\pi n}{L}$$

Або для $\omega = 2\pi f$ маємо

$$\frac{f}{C} = \frac{n}{L}. \quad (11)$$

Враховуючи, що довжина акустичної хвилі $\lambda = c/f$, остаточно одержуємо

$$n = \frac{L}{\lambda} = \text{const}. \quad (12)$$

Співвідношення (12) означає, що при зміні швидкості розповсюдження УЗК C частота електричних коливань f встановлюється такою, що в відстані L завжди вкладається ціле число n довжин ультразвукової хвилі. Швидкість розповсюдження УЗК в речовині потоку з (11) визначається виразом

$$C = \frac{fL}{n}. \quad (13)$$

Підставивши значення частоти f з виразу (13) в співвідношення (7), одержуємо

$$V_L = \frac{L}{n \cos \theta} F. \quad (14)$$

Враховуючи, що об'ємна витрата потоку визначається середньою швидкістю потоку по діаметру трубопроводу D

$$Q = kV_L \frac{\pi D^2}{4}, \quad (15)$$

звідки з урахуванням виразу (14) одержуємо

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \frac{kL}{n \cos \theta} F, \quad (16)$$

де k – коефіцієнт, що дорівнює відношенню середніх швидкостей потоку по довжині акустичної бази L і діаметру трубопроводу D .

Вважаючи $L = D/\sin \theta$ (нехтуючи довжиною "кишеной", в яких встановлені електроакустичні перетворювачі 6 та 7), остаточно одержуємо

$$Q = \frac{\pi D^3 k}{2n \sin 2\theta} F = S_0 F, \quad (17)$$

де $S_0 = \pi D^3 k / 2n \sin 2\theta$ – результуюча крутизна перетворення.

Значення n визначається з виразу (11) виходячи з початкової частоти f високочастотного генератора 1 та середньої швидкості УЗК C_{cp} в речовині потоку

$$n = \frac{f_n L}{C_{cp}}. \quad (18)$$

Так, при $f_n = 105$ Гц, $C_{cp} = 2400$ м/с та акустичній базі $L = 0,24$ м маємо $n = 10$. При відміні швидкості УЗК в речовині C від середньої швидкості C_{cp} , частота f змінюється відносно f_n так, що забезпечується постійність співвідношення (12).

З одержаного виразу (7) видно, що при регулюванні низької частоти F та додатковій підстройці високої частоти f по означеним фазовим співвідношенням, об'ємна витрата Q пропорційна тільки частоті модуляції F і не залежить від швидкості C розповсюдження УЗК в речовині потоку та частоти УЗК f . Значення крутизни S_0 одержують в процесі калібрування пристрою зразковими засобами.

Виключення впливу непостійності швидкості розповсюдження C УЗК та нестабільності високочастотних коливань f значно підвищують точність виміру об'ємної витрати і виключають необхідність введення поправок на зміни температури, щільності, хімічного складу і т. і. Вимір частоти електричного сигналу замість його фазового зсуву також підвищує точність виміру витрати, оскільки відносна похибка виміру частоти на 2–3 порядки менша, ніж похибка виміру фази (10^{-6} – 10^{-7} замість 10^{-3} – 10^{-4}).

Пристрій працює наступним чином.

Високочастотні коливання високочастотного генератора 1 частоти $\omega = 2\pi f$ (фіг. 1) в односмуговому фазокомпенсаційному модуляторі 2 (фіг. 2) розщеплюються високочастотним квадратурним фазорозщеплювачем 22 на дві квадратурні напруги, що наражаються балансною модуляцією у балансних модуляторах 23 та 24 квадратурними коливаннями з виходу регульованого двохфазного генератора 14 низької частоти. При одному положенні третього 15 та четвертого 16 автоматичних комутаторів на виході диференціального підсилю-

вача 25 односмугового фазокомпенсаційного модулятора 2 формуються високочастотні коливання, що зсунуті по частоті на значення частоти F регульованого генератора 14 низької частоти. Остання спочатку вибирається мінімальною, виходячи з умов роботи односмугового фазокомпенсаційного модулятора 2.

Зсунуті по частоті високочастотні коливання крізь перший 3 та другий 4 автоматичні комутатори поступають на акустичний перетворювач 8. При цьому випромінювання ультразвукових коливань, що задається положенням комутаторів 3 та 4, здійснюється в напрямку від випромінювача 6 до приймача 7 руху по току. Прийняті ультразвукові коливання, які перетворюються в електричні приймачом 7, поступають на підсилювач 5 з автоматичним регулюванням підсилення, де стабілізуються по амплітуді на заданому рівні. В фазовому детекторі 9 відбувається перетворення дробових частин повного фазового зсуву прийнятих коливань в напругу відносно фази коливань безпосередньо на виході однополосного фазокомпенсаційного модулятора 2. Тому вихідна напруга фазового детектора 9 пропорційна тільки тій частині зсуву фази прийнятих коливань, що прискорені контролюємим потоком відносно фази випромінених коливань.

При іншому положенні третього 15 та четвертого 16 автоматичних комутаторів на виході диференціального підсилювача 25 односмугового фазокомпенсаційного модулятора 2 формуються зсунуті по частоті високочастотні коливання з зменшеною частотою на значення частоти F регульованого генератора 14 низької частоти. Відповідно цьому змінюється положення першого 3 та другого 4 автоматичних комутаторів. При цьому ультразвукові коливання розповсюджуються в напрямку від випромінювача 7 до приймача 6 проти руху потоку в акустичному перетворювачі 8. Вихідна напруга фазового детектора 9 стає пропорційною дробовій частині фазового зсуву прийнятих коливань, що гальмуються контрольованим потоком.

В результаті безперервної роботи комутаторів 3, 4 та 15, 16, що управляються прямокутними імпульсами мультівібратора 17, на виході фазового детектора 9 утворюється перемінна складова напруги, що змінюється з частотою комутації, та постійна складова напруги. Амплітуда перемінної складової напруги пропорційна різниці фаз дробових частин ϕ_1 та ϕ_2 повних фазових зсувів Φ_1 та Φ_2 , що порівнюються. Ця напруга проходить крізь фільтр верхніх частот 10 з частотою зрізу, декілька більшою частоти комутації Ω . Змінна напруга підсилюється підсилювачем 11 змінної напруги і випрямляється двохнапівперіодним фазочутливим випрямлячем 12, що управляється безпосередньо вихідними імпульсами мультівібратора 17. Випрямлений сигнал заряджає інтегратор 13, вихідна напруга якого впливає на керувальний вхід регульованого генератора 14 низької частоти, змінюючи при цьому значення частоти F .

Зростаюча напруга на першому інтеграторі 13 збільшує частоту квадратурних напруг на виході регульованого генератора 14 низької частоти, доки не зрівняються вихідні напруги фазового детектора 9, що відповідають двом положенням

автоматичних комутаторів 3,4 та 15,16. При зрівнянні вихідних напруг фазового детектора 9 зникає перемінна складова, і вихідний сигнал двохнапівперіодного фазочутливого випрямляча 12 обертається в нуль. Вихідна напруга зарядженого інтегратора 13 підтримує значення частоти регульованого генератора 14 низької частоти, необхідне для виконання співвідношення (5), а отже, і співвідношення (7).

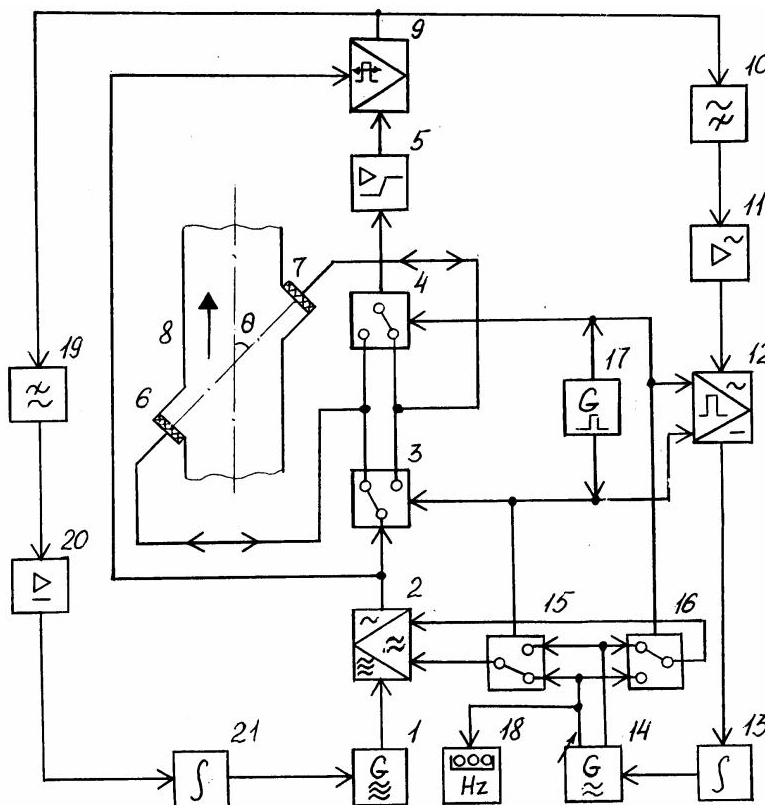
Постійна складова вихідної напруги фазового детектора 9, що пропорційна сумі фаз дробових частин φ_1 та φ_2 повних фазових зсувів Φ_1 та Φ_2 , що порівнюються, виділяється фільтром нижніх частот 19 з частотою зрізу, меншою частоти комутації Ω . Ця напруга посилюється підсилювачем 20 постійної напруги і поступає на вхід другого інтегратора 21, вихідна напруга якого впливає на керувальний вхід високочастотного генератора 1. Під впливом керувальної напруги частота f генератора 1 змінюється до встановлення кратності між довжиною ультразвукової хвилі λ та акустичною базою L при двох положеннях автоматичних комутаторів 3,4 та 15, 16. При цьому зникає постійна складова на виході фазового детектора 9 і другий інтегратор 21 підтримує частоту f високочастотного генератора 1 такою, щоб при змінах швидкості розповсюдження УЗК автоматично забезпечувалось виконання співвідношення (12). Це дозволяє забезпечити стійку роботу фазового детектора 9 (виконаного, наприклад, по двохнапівперіодній тригерній схемі, який має лінійну ділянку в діапазоні від $-\pi$ до π) в межах одного фазового циклу при зміні напрямку розповсюдження УЗК, в т. ч. на лінійній ділянці його статич-

ної характеристики, і виключити можливість виникнення неоднозначності фазових вимірів.

Значення частоти регульованого двофазного генератора 14 низької частоти, що встановилась, вимірюється цифровим частотоміром 18, індикатор якого у відповідності з виразом (17) може бути відкаліброваним безпосередньо у одиницях витрати. При змінах витрати відбувається підзаряд або деякий розряд інтегратора 13, що призводить до зміни частоти F квадратурних напруг на виході регульованого двофазного генератора 14 низької частоти. Відповідне значення частоти F , що встановилась, реєструється частотоміром 18.

Автоматичне регулювання частоти регульованого двофазного генератора 14 низької частоти та підстройка частоти високочастотного генератора 1, а також безпосередній вимір частоти генератора 14, значення якої пропорційно витраті контрольованої речовини, підвищує точність виміру витрати за рахунок виключення впливу непостійності частот генераторів 1 та 14, нестабільності чутливості та дрейфу нуля фазового детектора 9, а також непостійності параметрів керувального підсилювачно-випрямляючого тракту (блоки 10, 11, 12, 13 та 19, 20, 21).

Експериментальні дослідження ультразвукового фазового пристрою для автоматичного визначення витрати, що заявляється, показали, що у порівнянні з пристроєм аналогічного призначення (прототипом), забезпечується контроль витрати рідин у діапазоні 5-300 м³/ч з похибкою не більш ніж $\pm 0,15\%$ при частоті ультразвукових коливань 0,1-0,5 МГц, модулююча частота яких знаходиться у межах 1-5 кГц та комутується з частотою 10-20 Гц.



Фіг. 1

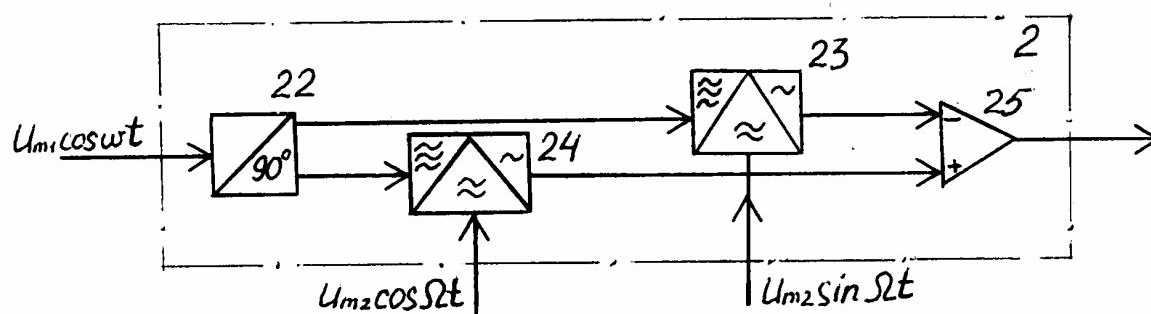


Fig. 2

Тираж 50 екз.

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