



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA (11) 96834 (13) C2
(51) МПК
G01F 1/68 (2006.01)

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ПОТОКУ ГАЗІВ ТА РІДИН

1

(21) а201003532

(22) 26.03.2010

(24) 12.12.2011

(46) 12.12.2011, Бюл.№ 23, 2011 р.

(72) ЗАВОРОТНИЙ ВІКТОР ФЕДОРОВИЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИ-
ТУТ"

(56) SU 1126818 A; 30.11.1984

RU 2018787 C1; 30.08.1994

US 4576050; 18.03.1986

DE 19623323 A1; 23.10.1997

US 5533412; 09.07.1996

US 5243858; 14.09.1993

(57) Спосіб вимірювання потоку газів та рідин, що включає створення електричним струмом періодичних коливань температури нагрівача в деякій зоні робочого потоку та визначення параметрів теплообміну через робочий потік між нагрівачем та тепловим сенсором на відстані від нагрівача і зони створення періодичних коливань температури, який відрізняється тим, що локально нагрівають робочий потік, збуджують нагрівачем теплову хвилю, реєструють температуру на відстані від зони

2

нагріву тепловим сенсором, перетворюють температуру потоку в електричний сигнал, порівнюють цей сигнал з опорним сигналом, якщо сигнал сенсора перевищує опорний сигнал, то нагрівач вмикають і нагрівання потоку припиняють, доки електричний сигнал, пропорційний температурі, не стане меншим, ніж опорний сигнал, після чого нагрівач вмикають, локальне нагрівання робочого потоку відновлюють і процес повторюється, при цьому вимірюють частоту періодичних релаксаційних коливань, що виникають, а потік газу ρ визначають за формулою:

$$\rho = A(\omega - \omega_0),$$

де:

ω - частота автоколивань температури нагрівача при потоці, що вимірюється,

ω_0 - константа, яка дорівнює частоті автоколивань температури нагрівача при нульовому потоці,

A - константа, яка визначається геометрією потоку та відстанню між нагрівачем і тепловим сенсором.

Винахід належить до вимірювальної техніки і може бути використаний в пристроях вимірювання потоку газів та рідин.

Відомі методи вимірювання потоків газу та рідини за допомогою ультразвуку [Филатов В.И., Кремлевский П.П. Ультразвуковые расходомеры. Методы и приборы для измерения расхода и количеств жидкости, газа и пара. - Таллинн: Машиностроение, 1972. - С. 116-125], в яких визначають потік за різницею часу розповсюдження ультразвукової хвилі за потоком та проти нього, проте вони не підходять для трубопроводів малого діаметра та для малих потоків, крім того прилади, що реалізують ці методи, мають великі габарити.

Відомий спосіб вимірювання потоку газів шляхом визначення інтенсивності теплообміну між елементом, що нагрівається та газом, що рухається [Malm et al., "Mass Flow Meter", IBM Technical Disclosure Bulletin, vol. 21, #8, 1/1979, p. 3227.], в

котрому використовують мікроскопічних розмірів елемент, отриманий за допомогою мікроелектронної технології. Через елемент пропускають електричний струм, котрий розігріває його. Потужність, що розсіюється, автоматично підбирають таким чином, що величина розігріву підтримується постійною. Потік визначають по градувальній кривій, котра представляє собою залежність потужності, що розсіюється, від потоку газу. як термочутливий елемент, що нагрівається, використовують металічний терморезистор. Такий спосіб має обмежений діапазон вимірюваних потоків, низьку чутливість в області малих потоків та нелінійну характеристику перетворення. До недоліків цього способу слід віднести незручність та значну похибку при визначенні значення потоку по градувальному графіку чи таблиці.

Найближчим аналогом є спосіб вимірювання потоку газів шляхом створення електричним стру-

(13) C2

(11) 96834

(19) UA

мом періодичних коливань температури нагрівача, що діє на газ чи рідину, та визначення зсуву фази коливань температури на відстані d від нагрівача відносно коливань температури нагрівача [Патент США № 4576050, кл. G01F 1/68, G01P 5/10]. В цьому способі через нагрівач у вигляді металевої стрічки пропускають струм від генератора електричних коливань та за допомогою термоелектричного сенсора фіксують фазу температурних коливань на деякій відстані від нагрівача. Фазовим детектором вимірюють зсув фази між коливаннями температури нагрівача та теплового сенсора, причому фазовий зсув залежить від величини потоку.

Недоліком цього способу є нелінійна залежність зсуву фази коливань від величини потоку газу чи рідини, що призводить до того, що чутливість швидко падає зі зростанням величини потоку. Крім того, зсув фази коливань температури залежить від теплофізичних властивостей газу чи рідини, тому для різних середовищ необхідно підбирати оптимальну частоту коливань температури.

В основу винаходу поставлено задачу підвищення точності та розширення діапазону вимірювання потоку газів та рідин шляхом створення та підтримання релаксаційних періодичних автоколивань температури нагрівача та теплового сенсора і вимірювання частоти цих автоколивань за рахунок створення лінійної характеристики перетворення в широкому діапазоні величин потоку.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі вимірювання потоку газів та рідин, який включає створення електричним струмом періодичних коливань температури нагрівача, що діє на газ чи рідину, визначення параметрів теплообміну через газове середовище між нагрівачем та тепловим сенсором на відстані від нагрівача, новим є те, що сигнал на тепловому сенсорі порівнюють з опорним сигналом, якщо сигнал сенсора менший опорного сигналу, нагрівач вмикають, коли сигнал теплового сенсора дорівнює або перевищує опорний сигнал, нагрівач вимикають, вимірюють частоту релаксаційних коливань, що виникають, а потік газу визначають за формулою:

$$\rho = A(\omega - \omega_0), \quad (1)$$

де ω - частота автоколивань температури нагрівача при потоці що вимірюється, ω_0 - константа, котра дорівнює частоті автоколивань температури нагрівача при нульовому потоці, A - константа, котра визначається геометрією каналу та відстанню між нагрівачем та тепловим сенсором.

Висока точність та зручність методу обумовлена тим, що потік визначають по формулі, в якій вимірювана величина лінійно залежить від частоти коливань, до формули входять величини, що можуть бути виміряні з високою точністю (частоти ω та ω_0), та константи, що визначаються геометрією (A , d). Слід зауважити, що коливання електричного струму мають не гармонійну форму типу синусоїди, а коливання типу меандр, що забезпечує більшу завадостійкість.

Принцип вимірювання потоку газів чи рідин, що пропонується, оснований на залежності швид-

кості розповсюдження температурних хвиль в газі чи рідині (надалі в середовищі) від швидкості руху середовища відносно сенсора. Відомо, що час розповсюдження температурної хвилі в нерухомому середовищі (потік дорівнює нулю) від нагрівача до сенсора визначається відстанню d між ними та швидкістю протікання дифузії тепла C : $t_0 = d/C$.

Цей проміжок часу визначає період релаксаційних коливань, що виникають за рахунок запізнення теплового зв'язку між нагрівачем та сенсором:

$$T_0 = 2 \quad t_0 = 2d/C, \quad \text{та частоту коливань}$$

$$\omega_0 = 2\pi/T = C/2d.$$

Коли середовище рухається зі швидкістю V , час розповсюдження температурної хвилі зменшується: $t_p = d/(C+V)$ і період релаксаційних коливань також: $T = 2d/(C+V)$, а частота коливань збільшується: $\omega = 2\pi/T = (C+V)/2d$.

При цьому зміна частоти визначається виразом:

$$\omega - \omega_0 = (C + V)/2d - C/2d = V/2d \quad (2)$$

Тобто зміна частоти визначається швидкістю переміщення середовища відносно сенсора. Оскільки величина потоку визначається швидкістю потоку та площею поперечного перерізу S каналу: $\rho = VS$, то між величиною потоку та зсувом частоти релаксаційних коливань існує лінійна залежність, що випливає з рівняння (2):

$$\rho = 2 S d(\omega - \omega_0) = A(\omega - \omega_0), \quad (3)$$

де A - константа, що визначається геометрією потоку. Оскільки середня швидкість потоку може дещо відрізнитися від швидкості біля сенсора (біля стінок каналу швидкість менша, а всередині потоку - більша), то реальна константа A може дещо відрізнитися від величини $2Sd$. Тому для врахування реальних умов константу A визначають експериментальне шляхом градування відомого потоку.

На рисунку зображено схему пристрою для реалізації способу, що пропонується.

Спосіб здійснюється таким чином:

Спочатку визначають константу ω_0 , якщо вона невідома з попередніх вимірювань. Для цього в нерухомому середовищі (з нульовим потоком) за допомогою нагрівача 1 збуджують теплову хвилю. Через проміжок часу t_0 тепла хвиля через середовище досягає теплового сенсора 2. Тепловим сенсором 2 перетворюють температуру середовища в електричний сигнал і подають на компаратор-інвертор 3, де сигнал сенсора порівнюють з опорним сигналом $U_{оп}$. Коли сигнал від сенсора зрівнюється або перевищує опорний сигнал $U_{оп}$, на виході інвертора формується низький рівень напруги, котрий подають на нагрівач 1, що приводить до вимкнення нагрівача і формування фази спаду температури в тепловій хвилі. Коли спад температурної хвилі досягне теплового сенсора 2 і його температура впаде нижче рівня, що відповідає сигналу $U_{оп}$, на виході інвертора сформується високий рівень напруги, котрий подають на нагрівач, що призводить до вмикання нагрівача і збудження нового фронту теплової хвилі, тобто цикл повторюється. В результаті виникають рела-

ксаційні коливання. Вимірюють частоту автоколивань, котра визначає константу ω_0 .

Потім визначають константу А. Для цього створюють відомий потік ρ_1 і умови для автоколивань (як наведено вище) та вимірюють частоту автоколивань ω_1 , що відповідає цьому потоку. Константу А визначають за формулою:

$$A = \rho_1 / (\omega - \omega_0). \quad (3)$$

Якщо константи ω_0 та А відомі, то величину потоку ρ визначають таким чином: за допомогою нагрівача 1 збуджують теплову хвилю. Через проміжок часу t , що залежить від величини потоку, теплова хвиля досягає теплового сенсора 2. Тепловим сенсором 2 перетворюють температуру середовища в електричний сигнал і подають на компаратор-інвертор, де сигнал сенсора порівнюють з опорним сигналом. Коли сигнал від сенсора зрівнюється або перевищує опорний сигнал $U_{оп}$, на виході інвертора формується низький рівень напруги, котрий подають на нагрівач 1, що приводить до вимкнення нагрівача і формування фази спаду температури в тепловій хвилі. Коли спад температурної хвилі, прискорений потоком, досягне теплового сенсора 2 і його температура впаде нижче рівня, що відповідає сигналу $U_{оп}$, на виході інвертора сформується високий рівень напруги, котрий подають на нагрівач, що призводить до вмикання нагрівача і збудження нового фронту теплової хвилі, тобто цикл повторюється. В результаті виникають релаксаційні коливання, частота котрих залежить від величини потоку. Вимірюють частоту автоколивань ω та визначають величину потоку за формулою (1):

$$\rho = A(\omega - \omega_0),$$

де ω - частота автоколивань температури нагрівача при потоці що вимірюється, ω_0 - константа, котра дорівнює частоті автоколивань температури нагрівача при нульовому потоці, А - константа, котра визначається геометрією.

Приклад конкретного виконання винаходу:

Беруть нагріваний елемент, виготовлений по мікроелектронній технології, наприклад за [Патент Росії №2085874 Способ изготовления терморезистивного преобразователя], у вигляді нікелевого плівкового резистора, товщиною 0,15 мкм та опором ~ 1000 Ом, розташованого на діелектричній мембрані із Si_3N_4 товщиною 0,35 мкм і нікель-мідну плівкову термопару, розташовану на тій же мембрані на відстані 200 мкм від нагріваного елемента.

На нагрівач подають сигнал з виходу компаратора-фазоінвертора високого рівня 5В (електричний струм через нагрівач складає 5 мА). Сигнал з термопар, пропорційний зміні температури, підсилюють та подають на вхід компаратора-фазоінвертора. На інший вхід компаратора-фазоінвертора подають опорний сигнал, що відповідає середній температурі сенсора між максимальною (коли нагрівач ввімкнутий) та мінімальною (коли нагрівач вимкнутий) температурами. За рахунок зворотного зв'язку через теплову хвилю, що розповсюджується від нагрівача до сенсора, генеруються релаксаційні автоколивання. Після вимірювання частоти коливань, потік визначають по формулі (1).

Для отримання максимальної точності в широкого діапазону вимірюваних потоків тепловий сенсор та нагрівач мають мати мінімальну теплоємність та геометричні розміри при максимальному відношенні площі до об'єму, щоб не вносити похибки за рахунок теплової інерційності.

