



УКРАЇНА

(19) UA (11) 78044 (13) C2
(51) МПК (2006)
G01L 11/00
G01N 7/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ЦИФРОВИЙ ВИМІРЮВАЧ ТИСКУ

1

(21) 20041109689
(22) 25.11.2004
(24) 15.02.2007
(46) 15.02.2007, Бюл. № 2, 2007 р.
(72) Кондратов Владислав Тимофійович, Редько Віталій Володимирович
(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М. ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ
(56) SU 1624290, 30.01.1988
SU 1599685, 15.10.1990
RU 2112943, 10.01.1998
UK 2085155, 21.04.1982
UA 74970, 15.02.2006
RU 2231762, 27.09.2003
DE 19910301, 14.09.2000
US 5854682, 29.12.1998
EP 0057125, 04.08.1982
(57) Цифровий вимірювач тиску, що включає оптичний сенсор тиску, перший, другий та третій світловоди, генератор оптичного випромінювання, фотоприймач, який складається з лінзи, фотодіода і двох підсилювачів із резисторами у від'ємному зворотному зв'язку, загальну шину, перетворювач "напруга-код", оперативний запам'ятовувальний пристрій, постійний запам'ятовувальний пристрій, цифровий відліковий пристрій та мікропроцесор, які з'єднані між собою через загальну шину, генератор оптичного випромінювання, що підключений через перший світловід до оптичного сенсора тиску, перший та другий виходи якого з'єднані з другим та третім світловодами, який **відрізняється** тим, що має додатково введені керований генератор оптичного випромінювання, четвертий,

2

п'ятий і шостий світловоди, першу та другу пари лінз, оптичний суматор, світловипромінювальний діод, фотодіод, підсилювач-формував імпульсів, фільтр верхніх частот та синхронний детектор, перетворювач "код-частота", перетворювач "код-струм" і об'єктивний диск із синхронним двигуном, вхід керування якого підключений до виходу перетворювача "код-частота", входи якого з'єднані з загальною шиною, до якої підключені входи перетворювача "код-струм", чий вихід з'єднаний із входом управління керованого генератора оптичного випромінювання, вихід якого оптично з'єднаний із входом четвертого світловода, виходи якого, як і виходи другого та третього світловідів оптично з'єднані через об'єктивний диск із першою парою лінз, які через п'ятий та шостий світловоди оптично з'єднані з другою парою лінз, котрі через оптичний суматор з'єднані з фотоприймачем, виходи якого підключені до фільтра верхніх частот, чий вихід підключений до сигнального входу синхронного детектора, вихід якого з'єднаний із входом перетворювача "напруга-код", вхід керування синхронного детектора підключений, через підсилювач-формував імпульсів, до виходу фотодіода, який оптично з'єднаний через об'єктивний диск із світловипромінювальним діодом, вхід керування якого підключений до одного з розрядів паралельного порту мікропроцесора, вихід другого розряду якого з'єднаний із входом керування джерела оптичного випромінювання, а вхід послідовного порту підключений до виходу підсилювача-формувача імпульсів.

Винахід відноситься до області вимірювальної техніки і може бути застосований для високоточного вимірювання тиску оптичними методами.

Відомий вимірювач тиску [А.С. SU 1599685 А1 МКИ⁵. Измеритель давления / Е.Ф.Волосожар. Бюл. №38, 1990], що включає в себе оптичний сенсор тиску, перший, другий і третій світловоди, генератор оптичного випромінювання, фотоприймач із підсилювачем, перетворювач "код-частота",

цифровий відліковий пристрій і мікро-ЕОМ, що включає в себе загальну шину, оперативний запам'ятовувальний пристрій, постійний запам'ятовувальний пристрій і мікропроцесор.

Відомий пристрій не забезпечує достатню точність вимірювання тиску через реалізацію прямого методу вимірювання, який передбачає використання фотоприймача, функція перетворення якого, є нелінійною та має часову і температурну неста-

C2
(13)

78044
(11)

UA
(19)

більність. Це обмежує не тільки точність, але й діапазон вимірювання тиску тому, що пристрій працює на лінійній ділянці функції перетворення фотоприймача.

Вказані причини заважають досягненню поставленої задачі підвищення точності та розширення діапазону вимірювання тиску.

Відомий також пристрій для вимірювання тиску [А.С. SU 1624290 А1 МКИ⁵. Устройство для измерения давления / О.Ф.Иванов, Ф.Т.Вильконец, В.Б.Сидоров, В.В.Кирпичев, Б.А.Белгородский, В.Г.Лужаин и С.А.Гринев. Бюл. №4, 1991], що включає в себе оптичний сенсор тиску, перший та другий світловоди, генератор оптичного випромінювання, фотоприймач із підсилювачем, вимірювальний прилад, який включає в себе загальну шину, оперативний запам'ятовуючий пристрій, постійний запам'ятовуючий пристрій, мікропроцесор і цифровий відліковий пристрій.

Відомий пристрій не забезпечує достатні точність та діапазон вимірювання тиску через те, що реалізує прямий метод вимірювання тиску. Цей метод передбачає використання фотоприймача, функція перетворення якого є нелінійною та має часову і температурну нестабільність. Спеціальні структурні чи структурно-алгоритмічні методи корекції нелінійності у відомому пристрої не використовуються. В результаті не досягається виключення похибок від нелінійності функції перетворення фотоприймача, адитивної та мультиплікативної похибок вимірювання. Крім того, діапазон вхідного сигналу фотоприймача обмежується лінійною ділянкою його функції перетворення.

Все це заважає досягненню поставленої задачі підвищення точності та розширення діапазону вимірювання тиску.

Найбільш близьким за технічною сутністю до цифрового вимірювача тиску є оптичний манометр [Световодные датчики / Б.А.Красюк, О.Г.Семёнов, А.Г.Шереметьев и др. - М.: Машиностроение, 1990. - 256с.], що включає в себе оптичний сенсор тиску, перший, другий та третій світловоди, генератор оптичного випромінювання, фотоприймач із підсилювачем, перетворювач "код-частота", оперативний запам'ятовуючий пристрій, постійний запам'ятовуючий пристрій, мікропроцесор і цифровий відліковий пристрій.

Відомий пристрій не забезпечує достатню точність вимірювання тиску через реалізацію прямого методу вимірювання. Останній передбачає використання фотоприймача з нелінійною та нестабільною у часі і від температури функцією перетворення, а також підсилювача, дрейф нуля якого також залежить від температури. Крім того, відомий пристрій має обмежений діапазон вимірювання, оскільки робоча точка розташована на лінійній ділянці функції перетворення фотоприймача. За межами цієї ділянки зростає похибка від нелінійності.

В основу винаходу покладена технічна задача створення цифрового вимірювача дійсного значення тиску, у якому завдяки введеній сукупності функціональних блоків та нових зв'язків між ними і з іншими блоками пристрою забезпечувалося б підвищення точності та розширення діапазону вимірювання тиску.

Поставлена технічна задача вирішується завдяки тому, що в цифровий вимірювач тиску, що включає в себе оптичний сенсор тиску, перший, другий та третій світловоди, генератор оптичного випромінювання, фотоприймач, який складається з лінзи, фотодіода і двох підсилювачів із резисторами у від'ємному зворотному зв'язку, загальну шину, перетворювач "напруга-код", оперативний запам'ятовуючий пристрій, постійний запам'ятовуючий пристрій, цифровий відліковий пристрій та мікропроцесор, які з'єднані між собою через загальну шину, генератор оптичного випромінювання, що підключений через перший світловод до оптичного сенсору тиску, перший та другий виходи якого з'єднані з другим та третім світловодами, додатково введені керований генератор оптичного випромінювання, четвертий, п'ятий і шостий світловоди, перша та друга пари лінз, оптичний суматор, світловипромінювальний діод, фотодіод, підсилювач-формував імпульсів, фільтр верхніх частот та синхронний детектор, перетворювач "код-частота", перетворювач "код-струм" і об'єкторний диск із синхронним двигуном, вхід керування якого підключений до виходу перетворювача "код-частота", входи якого з'єднані з загальною шиною, до якої підключені входи перетворювача "код-струм", чий вихід з'єднаний із входом управління керованого генератора оптичного випромінювання, вихід якого оптично з'єднаний із входом четвертого світловода, виходи якого, як і виходи другого та третього світловодів оптично з'єднані, через об'єкторний диск, із першою парою лінз, які, через п'ятий та шостий світловоди, оптично з'єднані з другою парою лінз, котрі, через оптичний суматор, з'єднані з фотоприймачем, виходи якого підключені до фільтру верхніх частот, чий вихід підключений до сигнального входу синхронного детектора, вихід якого з'єднаний із входом перетворювача "напруга-код", вхід керування синхронного детектора підключений, через підсилювач-формував імпульсів, до виходу фотодіода, який оптично з'єднаний, через об'єкторний диск, із світловипромінювальним діодом, вхід керування якого підключений до одного з розрядів паралельного порту мікропроцесора, вихід другого розряду якого з'єднаний із входом керування джерела оптичного випромінювання, а вхід послідовного порту підключений до виходу підсилювача-формував імпульсів.

На рисунку зображена структурна схема цифрового вимірювача тиску, де 1 - оптичний сенсор тиску; 2, 3, 4, 7, 14 і 15 - відповідно перший, другий, третій, четвертий, п'ятий і шостий світловоди; 5 - генератор оптичного випромінювання; 6 - керований генератор оптичного випромінювання; 8 - світловипромінювальний діод; 9 - об'єкторний диск; 10 - фотодіод; 11, 13 - перша пара лінз; 12 - синхронний двигун; 16 - підсилювач-формував імпульсів; 17, 19 - друга пара лінз; 18 - оптичний суматор; 20 - фотоприймач, який складається з лінзи, фотодіода і двох підсилювачів; 21 - фільтр верхніх частот; 22 - синхронний детектор; 23 - перетворювач "код-частота"; 24 - перетворювач "напруга-код"; 25 - перетворювач "код-струм"; 26 - загальна шина; 27 - цифровий відліковий пристрій; 28 - оперативний запам'ятовуючий пристрій; 29 -

постійний запам'ятовуючий пристрій; 30 - мікропроцесор.

Цифровий вимірювач тиску включає в себе оптичний сенсор тиску 1, перший, другий та третій світловоди 2, 3 і 4, генератор оптичного випромінювання 5 та фотоприймач 20, який складається з лінзи, фотодіода і двох підсилювачів. Крім того, цифровий вимірювач тиску містить загальну шину 26, перетворювач "напруга-код" 24, оперативний запам'ятовуючий пристрій 28, постійний запам'ятовуючий пристрій 29, цифровий відліковий пристрій 27 та мікропроцесор 30, які з'єднані між собою через загальну шину 26. Генератор оптичного випромінювання 5 підключений через перший світловод 2 до оптичного сенсору тиску 1, перший та другий виходи якого з'єднані з другим та третім світловодами 3 і 4.

В цифровий вимірювач тиску додатково введені керований генератор оптичного випромінювання 6, четвертий, п'ятий і шостий світловоди 7, 14 і 15, перша та друга пари лінз 11, 13 і 17, 19 відповідно, оптичний суматор 18, світловипромінювальний діод 8, фотодіод 10, підсилювач-формував імпульсів 16, фільтр верхніх частот 21 і синхронний детектор 22, перетворювач "код-частота" 23, перетворювач "код-струм" 25 і об'єматорний диск 9 із синхронним двигуном 12.

Слід зазначити, що підсилювач-формував імпульсів 16 формує періодичну послідовність імпульсів з частотою Ω керування синхронним двигуном 12, але затриманим на час затримки вимірювального каналу від фотоприймача 20 до синхронного детектора 22. Крім того, потужність вихідних імпульсів перетворювача "код-частота" 23 є достатньою для керування роботою синхронного двигуна 12.

Для кращого розуміння сутності запропонованого технічного рішення пояснимо спочатку принцип дії оптичного сенсора тиску.

Оптичний сенсор тиску, як і у прототипі, містить в собі перший, другий та третій світловоди, оптичні волокна яких розташовані по трьом концентричним кільцевим зонам, та чутливу мембрану із внутрішньою дзеркальною поверхнею. Оптичні волокна першого світловоду, що розміщені в середній кільцевій зоні, призначені для направлення світлового потоку Φ'_n нормованої інтенсивності ($\{\Phi'_n\} = 2\{\Phi_n\}$, де Φ_n - нормований за значенням світловий потік) на внутрішню дзеркальну поверхню мембрани, а оптичні волокна другого і третього світловодів, що розташовані, відповідно, у внутрішній та зовнішній концентричних кільцевих зонах призначені для передачі інформативних світлових потоків Φ_{x1} і Φ_{x2} , відбитих внутрішньою дзеркальною поверхнею мембрани. Значення інтенсивностей відбитих інформативних світлових потоків Φ_{x1} і Φ_{x2} дорівнюють відповідно

$$\{\Phi_{x1}\} = \{\Phi_n\} - \{\Phi_d\} = \{\Phi_n\} - \{S_c\}\{p_x\};$$

$$\{\Phi_{x2}\} = \{\Phi_n\} - \{\Phi_d\} = \{\Phi_n\} - \{S_c\}\{p_x\};$$

де p_x - вимірюваний тиск; Φ_x - приріст світлового потоку, що пропорційний вимірюваному тиску; S_c - коефіцієнт перетворення вимірюваного тиску p_x у приріст Φ_x світлового потоку.

Припустимо, що функція перетворення фотоприймача 20 крім лінійної має кубічну складову. Рівняння зв'язку між інтенсивностями світлових

потоків Φ_{x1} і Φ_{x2} , що поступають на фотоприймач 20, та напругами U_{n1} і U_{n2} , що утворюються на першому та другому його виходах відповідно, мають вигляд:

$$U_1 = (S'_n \Phi_{x1}^3 + S'_n \Phi_{x1}) \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t \right] + \Delta U'_1;$$

$$U_2 = (S'_n \Phi_{x2}^3 + S'_n \Phi_{x2}) \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t \right] + \Delta U'_2;$$

де U_1 і U_2 - вихідні напруги першого та другого підсилювачів фотоприймача;

$$\{\Delta U'_1\} = 0,5\{\Delta U_1\} + \{\Delta U_{31}\}, \{\Delta U'_2\} = 0,5\{\Delta U_2\} + \{\Delta U_{32}\},$$

де ΔU_1 і ΔU_2 - постійні складові вихідних напруг першого та другого підсилювачів фотоприймача, ΔU_{31} та ΔU_{32} - напруги зміщення першого та другого підсилювачів фотоприймача;

$S'_n = S_n(1 + \gamma_n)$, $S'_n = S_n(1 + \gamma_n)$ - параметри функції перетворення фотоприймача, що враховують вплив на нього дестабілізуючих факторів, а також зміну параметрів у часі; S_n , S_n - номінальні за значенням параметри функції перетворення фотоприймача; γ_n , γ_n - відносні відхилення параметрів функції перетворення фотоприймача від номінальних значень, що викликані впливом на фотоприймач дестабілізуючих факторів.

Цифровий вимірювач тиску працює наступним чином. Після вмикання джерела живлення функціональні блоки цифрового вимірювача тиску встановлюються в початкове положення за командою з мікропроцесора 30. Цифровий відліковий пристрій 27 обнуляється.

У постійний запам'ятовуючий пристрій 29 записуються коди чисел, N_{11} і N_{12} , які забезпечують формування струмів I_1 і I_2 живлення керованого генератора оптичного випромінювання 6; код числа N_{Ω} , який забезпечує формування сигналу керування частотою обертання об'єматорного диску 9.

У першому такті на сенсор 1 світловий потік Φ_n від генератора оптичного випромінювання 5 через перший світловод 2 не поступає. Це обумовлено тим, генератор оптичного випромінювання 5 залишається вимкненим. За командою з мікропроцесора 30 в регістр перетворювача "код-струм" 25 поступає код числа N_{11} . В результаті на керований генератор оптичного випромінювання 6 поступить струм I_1 живлення, який забезпечує формування світлового потоку Φ'_1 , причому $\{\Phi'_1\} = 2\{\Phi_1\}$, де $\{\Phi_1\} = \{\Phi_0\} - \{\Delta\Phi_0\}$; Φ_0 - нормований за значенням світловий потік; $\Delta\Phi_0$ - нормований за значенням приріст світлового потоку. Світловий потік Φ'_1 від керованого генератора оптичного випромінювання 6 поступає на вхід четвертого світловоду 7. На першому та другому виходах четвертого світловоду 7 формуються додаткові світлові потоки $\Phi_{11}(\{\Phi_{11}\} = \{\Phi_0\} - \{\Delta\Phi_0\})$ та $\Phi_{12}(\{\Phi_{12}\} = \{\Phi_0\} - \{\Delta\Phi_0\})$ відповідно.

Нормований за значенням приріст світлового потоку $\Delta\Phi_0$ встановлюється за умовою

$\{\Delta\Phi_0\}=\{S_0\}\{\Delta\rho_0\}$, де $\Delta\rho_0$ - нормований за значенням приріст тиску.

Додаткові світлові потоки Φ_{11} і Φ_{12} комутуються за допомогою об'єктивного диску 9 і, через першу пару лінз 11 і 13, п'ятий та шостий світловоди 14 і 15, другу пару лінз 17 і 19 відповідно надходять на перший та другий входи оптичного суматора 18. З виходу оптичного суматора 18 додаткові комутовані світлові потоки Φ'_{11} і Φ'_{12} поступають на фотоприймач 20. За допомогою фотоприймача 20 додаткові світлові потоки Φ'_{11} і Φ'_{12} перетворюють у напруги:

$$U_{11}(S'_H\Phi_{11}^3 + S'_L\Phi_{11}^3)\left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t\right] + \Delta U'_1; \quad (1)$$

$$U_{12}(S'_H\Phi_{12}^3 + S'_L\Phi_{12}^3)\left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t\right] + \Delta U'_2; \quad (2)$$

Отримані напруги U_{11} (1) і U_{12} (2) подають на входи фільтра верхніх частот 21. На виходах фільтра верхніх частот 21 отримують амплітудно-модульовані сигнали

$$U'_{\Phi 1} = k_{\Phi}(S'_H\Phi_1^3 + S'_L\Phi_1^3)\frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t + \Delta U_{12}; \quad (3)$$

$$U''_{\Phi 1} = \left[k_{\Phi}(S'_H\Phi_1^3 + S'_L\Phi_1^3)\frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t + \Delta U_{12} \right]; \quad (4)$$

де k_{Φ} - коефіцієнт підсилення фільтра; $\{\Delta U_{12}\} = \{\Delta U'_1\} - \{\Delta U'_2\} = 0,5\{\Delta U_1\} - \{\Delta U_2\}\{\Delta U_{31}\} - \{\Delta U_{32}\}$.

З виходів фільтра верхніх частот 21 сигнали $U'_{\Phi 1}$ (3) і $U''_{\Phi 1}$ (4) поступають на входи синхронного детектора 22.

За командою з мікропроцесора 30 в регістр перетворювача "код-частота" 23 поступає код числа N_{Ω} . В результаті з виходу перетворювача "код-частота" 23 на вхід керування синхронного двигуна 12 надходить періодична послідовність імпульсів із частотою Ω та з заданою вольт-секундною площею. Об'єктивний диск 9 починає обертатись із частотою Ω . За командою з мікропроцесора вмикається світловипромінювальний діод 8. Світловий потік від світловипромінювального діоду 8 через перший проріз в об'єктивному диску 9 (див. рисунок) поступає на фотодіод 10 і перетворюється в змінну напругу. З виходу фотодіода 10 напруга надходить на підсилювач-формував імпульсів 16. На виходах підсилювача-формувача імпульсів 16 утворюються сигнали типу "меандр"

$$U'_{\Phi} = U_0 \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t; \quad (5)$$

$$U''_{\Phi} = -U_0 \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t; \quad (6)$$

де U_0 - нормована за значенням амплітуда імпульсів.

Сигнали $U'_{\Phi 1}$ (5) і $U''_{\Phi 1}$ (6) подають на входи керування синхронного детектора 22. В результаті синхронного детектування напруг $U'_{\Phi 1}$ (3) і $U''_{\Phi 1}$ (4) на виході синхронного детектора 22 утворюється постійна напруга

$$U_{\Delta 1} = k_{\Phi}k_{\Delta}(S'_H\Phi_1^3 + S'_L\Phi_1^3) = k_{\Phi}k_{\Delta}[S'_H(\Phi_0 - \Delta\Phi_0)^3 + S'_L(\Phi_0 - \Delta\Phi_0)^3]; \quad (7)$$

де k_{Δ} - коефіцієнт передачі синхронного детектора 22.

За допомогою перетворювача "напруга-код" 24 напруга $U_{\Delta 1}$ (7) перетворюється у цифровий код числа

$$N_1 = k_n\{U_{\Delta 1}\} \quad (8)$$

де k_n - коефіцієнт перетворення перетворювача "напруга-код" 24.

По загальній шині 26 цифровий код числа N_1 (8) поступає в оперативний запам'ятовуючий пристрій 28, де й запам'ятовується.

У другому такті за командою з мікропроцесора 30 в регістр перетворювача "код-струм" 25 поступає код числа N_{12} . В результаті на керований генератор оптичного випромінювання 6 поступить струм I_2 живлення, який забезпечує формування світлового потоку Φ'_2 , причому $\{\Phi'_2\} = 2\{\Phi_2\}$, де $\{\Phi_2\} = \{\Phi_0\} - \{\Delta\Phi_0\}$. Світловий потік Φ'_2 від керованого генератора оптичного випромінювання 6 поступає на вхід четвертого світловоду 7. На першому та другому виходах четвертого світловоду 7 формуються додаткові світлові потоки Φ_{21} ($\{\Phi_{21}\} = \{\Phi_0\} - \{\Delta\Phi_0\}$) та Φ_{22} ($\{\Phi_{22}\} = \{\Phi_0\} - \{\Delta\Phi_0\}$) відповідно.

Додаткові світлові потоки Φ_{21} і Φ_{22} комутуються за допомогою об'єктивного диску 9 і через першу пару лінз 11 і 13, п'ятий та шостий світловоди 14 і 15, другу пару лінз 17 і 19 відповідно надходять на перший та другий входи оптичного суматора 18. З виходу оптичного суматора 18 додаткові комутовані світлові потоки Φ'_{21} і Φ'_{22} поступають на фотоприймач 20. За допомогою фотоприймача 20 додаткові світлові потоки Φ'_{21} і Φ'_{22} перетворюють у напруги:

$$U_{21} = (S'_H\Phi_{21}^3 + S'_L\Phi_{21}^3)\left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t\right] + \Delta U'_1 \quad (9)$$

$$U_{22} = (S'_H\Phi_{22}^3 + S'_L\Phi_{22}^3)\left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t\right] + \Delta U'_2 \quad (10)$$

Отримані напруги (9) і (10) подають на входи фільтра верхніх частот 21. На виходах фільтра верхніх частот 21 отримують амплітудно-модульовані сигнали

$$U'_{\Phi 2} = k_{\Phi}(S'_H\Phi_2^3 + S'_L\Phi_2^3)\frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t + \Delta U_{12} \quad (11)$$

$$U''_{\Phi 2} = \left[k_{\Phi}(S'_H\Phi_2^3 + S'_L\Phi_2^3)\frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t + \Delta U_{12} \right] \quad (12)$$

З виходів фільтра верхніх частот 21 сигнали $U'_{\Phi 2}$ (11) і $U''_{\Phi 2}$ (12) поступають на входи синхронного детектора 22.

Світловий потік від світловипромінювального діоду 8 через перший проріз в об'єктивному диску 9 поступає на фотодіод 10 і перетворюється в напругу. З виходу фотодіода 10 напруга надходить на підсилювач-формував імпульсів 16. На виходах підсилювача-формувача імпульсів 16 утворюються сигнали $U'_{\Phi 1}$ (5) і $U''_{\Phi 1}$ (6), які подають на входи керування синхронного детектора 22. На виході синхронного детектора 22 утворюється напруга

$$U_{\Delta 2} = k_{\Phi}k_{\Delta}(S'_H\Phi_2^3 + S'_L\Phi_2^3) = k_{\Phi}k_{\Delta}[S'_H(\Phi_0 - \Delta\Phi_0)^3 + S'_L(\Phi_0 - \Delta\Phi_0)^3]; \quad (13)$$

За допомогою перетворювача "напруга-код" 24 напругу (13) перетворюють у цифровий код числа $N_2 = k_n \{U_{d2}\}$ (14)

По загальній шині 26 цифровий код N_2 (14) поступає в оперативний запам'ятовуючий пристрій 28, де й запам'ятовується.

У третьому такті за командою з мікропроцесора 30 вмикається генератор оптичного випромінювання 5. По першому світловоду 2 від генератора оптичного випромінювання 5 на внутрішню дзеркальну поверхню мембрани оптичного сенсора тиску 1 поступає світловий потік Φ'_n нормованої інтенсивності ($\{\Phi'_n\} = 2\{\Phi_n\}$). Одночасно на зовнішню поверхню чутливої мембрани оптичного сенсора тиску 1 діє тиск p_x . Відбиті внутрішньою дзеркальною поверхнею мембрани інформативні світлові потоки Φ_{x1} і Φ_{x2} поступають на входи другого та третього світловодів 3 і 4 відповідно.

За командою з мікропроцесора 30 в регістр перетворювача "код-струм" 25 поступає код числа N_{12} . В результаті на керований генератор оптичного випромінювання 6 поступить струм I_2 живлення, який забезпечує формування світлового потоку Φ'_2 . Світловий потік Φ'_2 від керованого генератора оптичного випромінювання 6 поступає на вхід четвертого світловоду 7. На першому та другому виходах четвертого світловоду 7 формуються додаткові світлові потоки Φ_{21} ($\{\Phi_{21}\} = \{\Phi_0\} - \{\Delta\Phi_0\}$) та Φ_{22} ($\{\Phi_{22}\} = \{\Phi_0\} - \{\Delta\Phi_0\}$) відповідно.

Світлові потоки Φ_{x1} , Φ_{21} і Φ_{x2} , Φ_{22} комутуються за допомогою об'єктивного диска 9. На лінзу 11 поступають одночасно комутовані інформативний світловий потік Φ'_{x1} , з виходу другого світловоду 3, та додатковий світловий потік Φ'_{21} з першого виходу четвертого світловоду 7. На лінзу 13 поступають одночасно комутовані інформативний світловий потік Φ'_{x2} , з виходу третього світловоду 4, та додатковий світловий потік Φ'_{22} , з другого виходу четвертого світловоду 7.

На виході лінзи 11 утворюється комутований сумарний світловий потік Φ'_{31} ($\{\Phi'_{31}\} = \{\Phi'_{x1}\} + \{\Phi'_{21}\}$), а на виході лінзи 13 - комутований сумарний світловий потік Φ'_{32} ($\{\Phi'_{32}\} = \{\Phi'_{x2}\} + \{\Phi'_{22}\}$). Сумарні світлові потоки Φ'_{31} і Φ'_{32} через п'ятий та шостий світловоди 14 і 15 подають на лінзи 17 і 19 відповідно. З виходів лінз 17 і 19 комутовані сумарні світлові потоки через оптичний суматор 18 надходять на фотоприймач 20.

За допомогою фотоприймача 20 сумарні світлові потоки Φ'_{31} і Φ'_{32} перетворюють у напруги:

$$U_{31} = \left(S'_H \Phi_{31}^3 + S'_L \Phi_{31} \right) \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t \right] + \Delta U'_1 \quad (15)$$

$$U_{32} = \left(S'_H \Phi_{32}^3 + S'_L \Phi_{32} \right) \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t \right] + \Delta U'_1 \quad (16)$$

Отримані напруги U_{31} (15) і U_{32} (16) подають на входи фільтра верхніх частот 21. На виходах фільтра верхніх частот 21 отримують амплітудно-модульовані сигнали

$$U'_{f3} = k_{\Phi} \left[S'_H (\Phi_{31}^3 + \Phi_{32}^3) + S'_L (\Phi_{31} + \Phi_{32}) \right] \left[\frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t + \right. \quad (17)$$

$$\left. + \frac{1}{2} k_{\Phi} \left[S'_H (\Phi_{31}^3 + \Phi_{32}^3) + S'_L (\Phi_{31} + \Phi_{32}) \right] + \Delta U_{12} \right];$$

$$U''_{f3} = - \left(k_{\Phi} \left[S'_H (\Phi_{31}^3 + \Phi_{32}^3) + S'_L (\Phi_{31} + \Phi_{32}) \right] \right) \left[\frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t + \right. \quad (18)$$

$$\left. + \frac{1}{2} k_{\Phi} \left[S'_H (\Phi_{31}^3 + \Phi_{32}^3) + S'_L (\Phi_{31} + \Phi_{32}) \right] + \Delta U_{12} \right];$$

З виходів фільтра верхніх частот 21 сигнали U'_{f3} (17) і U''_{f3} (18) поступають на входи синхронного детектора 22.

Світловий потік від світловипромінювального діоду 8 через перший проріз в об'єктивному диску 9 поступає на фотодіод 10 і перетворюється в напругу. З виходу фотодіода 10 напруга надходить на підсилювач-формував імпульсів 16. На виході підсилювача-формував імпульсів 16 утворюються сигнали U'_{fi} (5) і U''_{fi} (6), які подають на входи керування синхронного детектора 22. На виході синхронного детектора 22 утворюється напруга

$$U_{d2} = \frac{k_{\Phi} k_d}{2} \left[S'_H (\Phi_{31}^3 + \Phi_{32}^3) + S'_L (\Phi_{31} + \Phi_{32}) \right] \quad (19)$$

За допомогою перетворювача "напруга-код" 24 напругу U_{d3} (19) перетворюють у цифровий код числа

$$N_3 = k_n \{U_{d3}\} \quad (20)$$

По загальній шині 26 цифровий код числа N_3 (20) поступає в оперативний запам'ятовуючий пристрій 28, де й запам'ятовується.

У четвертому такті генератор оптичного випромінювання 5 залишається ввімкнутим. По першому світловоду 2 від генератора оптичного випромінювання 5 на внутрішню дзеркальну поверхню мембрани оптичного сенсора тиску 1 поступає світловий потік Φ'_n нормованої інтенсивності.

Одночасно на зовнішню поверхню чутливої мембрани оптичного сенсора тиску 1 діє тиск p_x . Відбиті внутрішньою дзеркальною поверхнею мембрани інформативні світлові потоки Φ_{x1} і Φ_{x2} поступають на входи другого та третього світловодів 3 і 4 відповідно.

За командою з мікропроцесора 30 в регістр перетворювача "код-струм" 25 поступає код числа N_{11} . В результаті на керований генератор оптичного випромінювання 6 поступить струм I_1 живлення, який забезпечує формування світлового потоку Φ'_1 .

Світловий потік Φ'_1 від керованого генератора оптичного випромінювання 6 поступає на вхід четвертого світловоду 7. На першому та другому виходах четвертого світловоду 7 формуються додат-

кові світлові потоки Φ_{11} ($\{\Phi_{11}\}=\{\Phi_0\}-\{\Delta\Phi_0\}$) та Φ_{12} ($\{\Phi_{12}\}=\{\Phi_0\}-\{\Delta\Phi_0\}$) відповідно.

Світлові потоки Φ_{x1} , Φ_{11} і Φ_{x2} , Φ_{12} комутуються за допомогою об'єктиваторного диску 9. На лінзу 11 поступають одночасно комутовані інформативний світловий потік Φ'_{x1} , з виходу другого світловоду 3, та додатковий світловий потік Φ'_{11} , з першого виходу четвертого світловоду 7.

На лінзу 13 поступають одночасно комутовані інформативний світловий потік Φ'_{x2} з виходу третього світловоду 4, та додатковий світловий потік Φ'_{12} , з другого виходу четвертого світловоду 7.

На виході лінзи 11 утворюється комутований сумарний світловий потік Φ'_{41} ($\{\Phi'_{41}\}=\{\Phi'_{x1}\}+\{\Phi'_{11}\}$) а на виході лінзи 13 - сумарний світловий потік Φ'_{42} ($\{\Phi'_{42}\}=\{\Phi'_{x2}\}+\{\Phi'_{12}\}$). Комутовані сумарні світлові потоки Φ'_{41} і Φ'_{42} через п'ятий та шостий світловоди 14 і 15 подають на лінзи 17 і 19 відповідно. З виходів лінз 17 і 19 комутовані сумарні світлові

потоки через оптичний суматор 18 надходять на фотоприймач 20.

За допомогою фотоприймача 20 сумарні світлові потоки Φ_{41} і Φ_{42} перетворюють у напруги:

$$U_{41} = \left(S'_H \Phi_{41}^3 + S'_L \Phi_{41} \right) \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t \right] + \Delta U_1; \quad (21)$$

$$U_{42} = \left(S'_H \Phi_{42}^3 + S'_L \Phi_{42} \right) \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t \right] + \Delta U_2; \quad (22)$$

Отримані напруги U_{41} (21) і U_{42} (22) подають на входи фільтра верхніх частот 21. На виходах фільтра верхніх частот 21 отримують амплітудно-модульовані сигнали

$$U'_{\Phi 4} = k_{\Phi} \left[S'_H (\Phi_{41}^3 + \Phi_{42}^3) + S'_L (\Phi_{41} + \Phi_{42}) \right] \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t + \quad (23)$$

$$+ \frac{1}{2} k_{\Phi} \left[S'_H (\Phi_{41}^3 + \Phi_{42}^3) + S'_L (\Phi_{41} + \Phi_{42}) \right] + \Delta U_{12};$$

$$U''_{\Phi 4} = -k_{\Phi} \left[S'_H (\Phi_{41}^3 + \Phi_{42}^3) + S'_L (\Phi_{41} + \Phi_{42}) \right] \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)\Omega t + \quad (24)$$

$$+ \frac{1}{2} k_{\Phi} \left[S'_H (\Phi_{41}^3 + \Phi_{42}^3) + S'_L (\Phi_{41} + \Phi_{42}) \right] + \Delta U_{12};$$

З виходу фільтра верхніх частот 21 сигнали $U'_{\Phi 4}$ (23) і $U''_{\Phi 4}$ (24) поступають на входи синхронного детектора 22.

Світловий потік від світловипромінювального діоду 8 через перший проріз в об'єктиваторному диску 9 поступає на фотодіод 10 і перетворюється в напругу. З виходу фотодіода 10 напруга надходить на підсилювач-формував імпульсів 16. На виході підсилювача-формувача імпульсів 16 утворюються сигнали $U'_{\Phi i}$ (5) і $U''_{\Phi i}$ (6), які подають на входи керування синхронного детектора 22. На виході синхронного детектора 22 утворюється напруга

$$U_{d4} = \frac{k_{\Phi} k_d}{2} \left[S'_H (\Phi_{41}^3 + \Phi_{42}^3) + S'_L (\Phi_{41} + \Phi_{42}) \right] \quad (25)$$

За допомогою перетворювача "напруга-код" 24 напругу U_{d4} (25) перетворюють у цифровий код числа

$$N_4 = k_n \{U_{d4}\} \quad (26)$$

По загальній шині 26 цифровий код числа N_4 (26) поступає в оперативний запам'ятовувач пристрою 28, де й запам'ятовується.

У п'ятому такті результати чотирьох тактів вимірювання N_1 (8), N_2 (14), N_3 (20) і N_4 (26) обробляють згідно з рівнянням числових значень

$$N_{px} = \{p_x\} = \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\{\Phi_0\}(N_1 - N_2) + \{\Delta\Phi_0\}(N_1 - N_2)}}{3\{S_c\} \cdot \sqrt{\{\Phi_0\}(N_1 - N_2) + \{\Delta\Phi_0\}(N_1 - N_2)}} \times \quad (27)$$

$$\times \sqrt{\{\Phi_{20}\}(N_4 - N_3) + (\{\Phi_0\}\{\Phi_{H0}\} + \{\Phi_{20}\}(N_2 - N_1) - \{\Phi_{H0}\}\{\Delta\Phi_0\}(N_2 + N_1))}$$

де

$$\{\Phi_{20}\} = 2\{\Phi_0\}(\{\Phi_0\}^2 - \{\Delta\Phi_0\}^2), \quad \{\Phi_{H0}\} = 3\{\Phi_H\}(2\{\Phi_0\} + \{\Phi_H\}) \quad i$$

отримують дійсне значення тиску p_x .

При обробці результатів чотирьох тактів вимірювань за рівнянням числових значень (22) виключається вплив похибок вимірювання, обумовлених нестабільністю функції перетворення фотоприймача 20. Одночасно виключається вплив на результат вимірювання коефіцієнта підсилення k_{Φ} фільтра верхніх частот 21, коефіцієнта передачі k_d синхронного детектора 22 і коефіцієнта перетворення k_{nk} перетворювача "напруга-код" 24.

Позитивний ефект отриманий завдяки введенню в пристрій суттєвих відмітних ознак (сукупності функціональних блоків) та їх зв'язків між собою та

з іншими суттєвими ознаками.

Таким чином, введення нової сукупності функціональних блоків та нових зв'язків між ними і з іншими блоками пристрою, а також використання нового рівняння числових значень (22) дало можливість:

1) забезпечити підвищення точності вимірювання тиску за рахунок виключення похибок вимірювання пов'язаних з нелінійністю і нестабільністю функції перетворення фотоприймача 20;

2) розширення діапазону вимірювання тиску за рахунок виключення впливу параметрів нелінійної функції перетворення фотоприймача 20 на остаточний результат вимірювання.

За рахунок використання двохлапівперіодного синхронного детектора забезпечується подвійна

вихідна напруга та суттєво зменшується рівень комутаційних завад.

Аналіз рівняння числових значень (22) показав, що обробка результатів проміжних вимірювань зазначеним чином забезпечує виключення впливу абсолютних значень параметрів нелінійної

функції перетворення фотоприймача 20, а також їх зміни в часі та за температурою, відносно номінальних.

Таким чином, запропонований цифровий вимірювач тиску забезпечує вирішення зазначеної технічної задачі.

