



УКРАЇНА

(19) UA (11) 76230 (13) C2
(51) МПК (2006)
G01K 7/16

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ЦИФРОВИЙ ВИМІРЮВАЧ ТЕМПЕРАТУРИ

1

(21) 20040503923

(22) 24.05.2004

(24) 17.07.2006

(46) 17.07.2006, Бюл. №7, 2006р.

(72) Гайський Віталій Олександрович, Гайський Павло Віталійович, Логвінчук Олександр Миколайович, Кліменко Олександр Вікторович

(73) МОРСЬКИЙ ГІДРОФІЗИЧНИЙ ІНСТИТУТ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(56) RU 2072722 C1, 27.01.1997

UA 34184 A, 15.02.2001

SU 669218, 25.06.1979

GB 1204151, 03.09.1970

JP 61209331, 17.09.1986

JP 56077732, 26.06.1981

DE 2743233 A1, 05.04.1979

(57) 1. Цифровий вимірювач температури, що містить резисторний датчик температури, включений у вимірювальний міст з трьома зразковими резисторами в плечах, вершини якого сполучені з виходами джерела живлення і входами блока перетворення й обробки, який відрізняється тим, що вимірювальний міст додатково містить другий резисторний датчик температури і четвертий зразковий резистор і має шість вершин, з яких перша і друга підключені до виходів джерела живлення, а чотири інші підключені до входів блока перетворення й обробки, причому вказане підключення вершин вимірювального моста до виходів джерела живлення і входів блока перетворення й обробки виконане безпосередньо або дистанційно через лінії зв'язку, при цьому перший датчик температури підключений одним виводом до першої вершини моста, а іншим виводом сполучений послідовно

2

через третю вершину, перший зразковий резистор, четверту вершину і другий зразковий резистор з другою вершиною моста, а другий датчик температури підключений одним виводом до другої вершини, а іншим виводом сполучений послідовно через п'яту вершину, третій зразковий резистор, шосту вершину і четвертий зразковий резистор з першою вершиною вимірювального моста.

2. Вимірювач за п.1, який відрізняється тим, що зразкові резистори виконані змінними і програмно керованими.

3. Вимірювач за п.1 або 2, який відрізняється тим, що блок перетворення й обробки містить чотири аналогово-цифрові перетворювачі з диференціальними входами і мікропроцесор, входи і виходи якого підключені, відповідно, до цифрових виходів і цифрових входів кожного з аналогово-цифрових перетворювачів, при цьому аналогові входи аналогово-цифрових перетворювачів сполучені послідовно в кільце таким чином, що перший вивід кожного аналогово-цифрового перетворювача сполучений з другим виводом іншого аналогово-цифрового перетворювача і одним з чотирьох входів блока перетворення й обробки.

4. Вимірювач за п.1 або 2, який відрізняється тим, що блок перетворення й обробки містить комутатор, аналогово-цифровий перетворювач і мікропроцесор, вхід і вихід якого підключені, відповідно, до цифрових виходу і входу аналогово-цифрового перетворювача, диференціальний вхід якого підключений до диференціального виходу комутатора, чотири диференціальні входи якого є входами блока перетворення й обробки.

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і призначений для вимірювання температури контактними резисторними датчиками в навколишньому середовищі й в технологічних процесах. Він може бути використаний також для вимірювання параметрів газів і рідин, наприклад, швидкості потоку.

Відомі вимірювачі температури з резисторними датчиками у вимірювальних невідновжених мостах [1]. Такі вимірювачі не забезпечують високої точності через нелінійність функції перетво-

рення приросту опору датчика у вихідний сигнал, залежність результату вимірювання від параметрів моста і джерела живлення, наявність динамічної погрішності при мінливості температури, що вимірюється, через термічну інерційність датчика.

Відомі способи вимірювання температури і коефіцієнта теплообміну датчиків зі середовищем (методи Г. Пфріма) з використанням двох датчиків з різними конструктивними параметрами або тепловими режимами, що передбачають виключення динамічної погрішності вимірювань [2]. Для реалі-

(13) C2

(11) 76230

(19) UA

зації цих способів необхідне одночасне вимірювання миттєвих температур та їх похідних двох датчиків, миттєвих потужностей нагріву датчиків і виконання обчислювальних операцій [3].

Відомі вимірювачі температури з двома датчиками складні й не в повній мірі реалізують ці методи [4].

Найбільш близьким по складу та структурі до пристрою, що пропонується, і тому вибраний як прототип, є цифровий вимірювач температури, що містить джерело опорної напруги, вимірювальний міст, диференціальний підсилювач, аналогово-цифровий перетворювач, причому джерело опорної напруги сполучене з генераторами струму в двох плечах вимірювального моста, які утворені двома зразковими резисторами, два інші плечі утворені третім зразковим резистором і термоперетворювачем опору, а вихідна діагональ моста подана на входи диференціального підсилювача, вихід якого сполучений з входом аналогово-цифрового перетворювача [5].

Цьому пристрою також властиві вищенаведені недоліки. Крім того, живлення моста сталою напругою не усуває можливу паразитну термо-ЕРС в ланцюзі датчика, а наявність малого корисного сигналу з моста вимагає використання диференціального підсилювача, що приводить до посилення вхідних шумів разом з корисним сигналом.

Цей пристрій також не реалізовує методи Г.Пфріма щодо виключення динамічної погрішності вимірювань.

Такі ознаки прототипу, як наявність резисторного датчика температури, включеного у вимірювальний міст з трьома зразковими резисторами в плечах, вершини якого сполучені з виходами джерела живлення та входами блока перетворення й обробки, співпадають з істотними ознаками заявленого винаходу.

У основу винаходу поставлена задача створення цифрового вимірювача температури, в якому шляхом зменшення динамічної погрішності через теплову інерційність датчика, зниження випадкової та систематичної погрішностей через внутрішні шуми і «відхід» параметрів вимірювального моста і блока живлення, забезпечують технічний результат - підвищення точності вимірювання температури.

Поставлена задача вирішується тим, що в цифровому вимірювачі температури, який містить резисторний датчик температури, включений у вимірювальний міст з трьома зразковими резисторами в плечах, вершини якого сполучені з виходами джерела живлення та входами блока перетворення й обробки, згідно з винаходом міст виконаний так, що містить другий резисторний датчик температури та четвертий зразковий резистор і має шість вершин, з яких перша і друга підключені до виходів джерела живлення, а чотири інші - до входів блока перетворення й обробки, причому вказане підключення вершин вимірювального моста до виходів джерела живлення і входів блока перетворення й обробки виконане безпосередньо або виконане дистанційно, при цьому перший датчик температури підключений одним виводом до першої вершини моста, а іншим виводом сполучений послідовно через третю вершину,

перший зразковий резистор, четверту вершину та другий зразковий резистор з другою вершиною моста, а другий датчик температури підключений одним виводом до другої вершини, а іншим виводом сполучений послідовно через п'яту вершину, третій зразковий резистор, шосту вершину та четвертий зразковий резистор з першою вершиною вимірювального моста.

При цьому зразкові резистори можуть бути виконані змінними і програмне керованими.

Блок перетворення й обробки може бути виконаний в складі чотирьох аналогово-цифрових перетворювачів з диференціальними входами та мікропроцесора, цифрові входи і виходи якого сполучені, відповідно, з цифровими виходами і входами кожного з аналогово-цифрових перетворювачів, а аналогові входи аналогово-цифрових перетворювачів сполучені послідовно в кільце таким чином, що перший вивід кожного аналогово-цифрового перетворювача сполучений з другим виводом іншого аналогово-цифрового перетворювача і одним з чотирьох входів блока перетворення й обробки.

Блок перетворення й обробки може бути виконаний також в складі комутатора, аналогово-цифрового перетворювача та мікропроцесора, вхід і вихід якого підключені, відповідно, до цифрових виходу і входу аналогово-цифрового перетворювача, диференціальний вхід якого підключений до диференціального виходу комутатора, чотири диференціальні входи яких є входами блока перетворення й обробки.

Структурна схема пристрою зображена на Фіг.1 і 2, які ілюструють, відповідно, безпосереднє або дистанційне розташування вимірювального моста.

У склад пристрою входять вимірювальний міст ВМ1, блок перетворення й обробки БПО 2 і джерело живлення ДЖ 3. Вимірювальний міст 1 має два входи живлення на вершини в1 і в2 і чотири виходи від вершин в3, в4, в5, в6. Входи вимірювального моста сполучені з виходами джерела живлення 3 безпосередньо (Фіг.1) або дротовими лініями при дистанційному розташуванні вимірювального моста 1 (Фіг.2). Виходи вимірювального моста 1 в3, в4, в5, і в6 подані на однойменні входи блока перетворення й обробки 2 безпосередньо (Фіг.1) або через дротові лінії при дистанційному розташуванні вимірювального моста 1 (Фіг.2).

Вимірювальний міст 1 складається з двох гілок резисторів, включених паралельно між вершинами в1 і в2, поданими на виходи джерела живлення. Перша гілка ВМ утворена послідовно включеними першим датчиком температури R_{01} , вершини в3, першим зразковим резистором R_1 вершини в4 і другим зразковим резистором R_2 . Друга гілка ВМ утворена послідовно включеними другим датчиком температури R_{02} , вершиною в5, третім зразковим резистором R_3 , вершиною в6 і четвертим зразковим резистором R_4 .

Вершини в1 і в2 є входами ВМ по енергоживленню. Вершини в3, в4, в5, в6 є виходами ВМ, поданими на однойменні входи блока перетворення й обробки БПО 3.

Опір четвертого зразкового резистора R_4 дорівнює опорі першого датчика $R_{\theta 1}$ в нижній точці діапазону температур, що вимірюються. Це забезпечує отримання напруги U_1 між вершинами ВМ в3 і в6 приблизно пропорційної приросту опорі першого датчика в діапазоні температур, що вимірюються.

Опір другого зразкового резистора R_2 дорівнює опорі другого датчика $R_{\theta 2}$ в нижній точці діапазону температур, що вимірюються. Це забезпечує отримання напруги U_2 між вершинами ВМ в4 і в5, приблизно пропорційної приросту опорі другого датчика в діапазоні температур, що вимірюються.

Опір першого зразкового резистора R_1 дорівнює максимальній зміні опорі першого датчика R д у всьому діапазоні температур, що вимірюються. Це дозволяє отримати на вершинах в3 і в4 ВМ напругу U_3 , рівну максимально можливо приросту напруги на першому датчику $R_{\theta 1}$, і визначити миттєве значення робочого струму через перший датчик $R_{\theta 1}$.

Опір третього зразкового резистора R_3 дорівнює максимальній зміні опорі другого датчика $R_{\theta 2}$ у всьому діапазоні температур, що вимірюються. Це дозволяє отримати на вершинах в5 і в6 ВМ напругу U_4 , рівну максимально можливо приросту напруги на другому датчику $R_{\theta 2}$, і визначити миттєве значення робочого струму через другий датчик $R_{\theta 2}$.

Як датчики температури $R_{\theta 1}$ і $R_{\theta 2}$ використовуються термоопірники мідні, нікелеві, платинові або термістори. Передбачається, що їх вольт-амперна характеристика лінійна.

Залежності опорі датчиків від температури передбачаються відомими. Вони можуть бути лінійними (для мідних, нікелевих і деяких термісторних датчиків) і нелінійними (для платинових і термісторних датчиків). Наприклад, для лінійних датчиків ця залежність має вигляд

$$R_{\theta} = R_0[1 + \alpha(\theta - \theta_0)], \quad (1)$$

де $R_{\theta 1}$ - опір датчика при температурі θ ;

R_0 - опір датчика при початковій температурі во (нижня точка діапазону температур, що вимірюються);

α - температурний коефіцієнт чутливості. Максимальний опір датчика рівний

$$R_{\theta m} = R_0[1 + \alpha(\theta_m - \theta_0)], \quad (2)$$

де θ_m - максимальна температура, що вимірюється.

Температура датчика визначається по його опорі згідно з градуовальною характеристикою, яка для лінійного датчика має вигляд

$$\theta = \frac{1}{\alpha}(R_{\theta} - R_0) + \theta_0. \quad (3)$$

Для напруг на виходах моста справедливі вирази;

$$U_1 = R_{\theta 1}I_1 - R_4I_2;$$

$$U_2 = R_{\theta 2}I_1 - R_2I_1; \quad (4)$$

$$U_3 = R_1I_1$$

$$U_4 = R_3I_2$$

де I_1 і I_2 - струми в першій і другій гілках моста;
 $R_{\theta 1}$ і $R_{\theta 2}$ - опори першого і другого датчиків;

R_1, R_2, R_3 і R_4 - опори зразкових резисторів.

Рішення системи рівнянь (2) щодо опорів датчиків має вигляд

$$R_{\theta 1} = \frac{R_4 R_1}{R_3} \frac{U_4}{U_3} + R_1 \frac{U_1}{U_3}; \quad (5)$$

$$R_{\theta 2} = \frac{R_2 R_3}{R_1} \frac{U_2}{U_4} + R_3 \frac{U_3}{U_4}$$

Для потужностей нагріву датчиків справедливо

$$P_1 = R_{\theta 1}I_1^2 = R_{\theta 1} \left(\frac{U_3}{R_1} \right)^2 = \frac{R_3 U_3 U_4 + U_1 U_3 R_3}{R_3 R_1}; \quad (6)$$

$$P_2 = R_{\theta 2}I_2^2 = R_{\theta 2} \left(\frac{U_4}{R_3} \right)^2 = \frac{R_2 U_2 U_4 + U_3 U_4 R_1}{R_1 R_3}$$

Оскільки у вимірювачі враховується нагрів датчиків робочим струмом, то напруги U_3 і U_4 , що знімаються з виходу вимірювального моста, можуть бути підвищені за рахунок збільшення напруги живлення і, відповідно, струмів I_1 і I_2 до максимальних номінальних вхідних значень напруг аналогово-цифрових перетворювачів АЦП без посилення. Напруги U_1 і U_2 при цьому будуть лежати всередині діапазону номінальних вхідних напруг АЦП без посилення.

Це виключає необхідність посилення корисного сигналу перед аналогово-цифровим перетворенням і, відповідно, знижує рівень шумів на вході аналогово-цифрового перетворювача.

Блок 2 перетворення й обробки може бути виконаний, як зображено на Фіг.3. Він містить чотири аналогово-цифрові перетворювачі АЦП1 4, АЦП2 5, АЦП3 6, АЦП4 7, високоомні диференціальні входи яких підключені через входи блока до вершин вимірювального моста для зйому, відповідно, напруг U_1, U_2, U_3 і U_4 .

Для забезпечення одночасності зйому напруг з виходу вимірювального моста використовуються швидкодіючі АЦП порозрядного урівноваження з пристроями вибірки-зберігання на вході. Якщо датчики температури лінійні, то можливе використання інтегровальних перетворювачів, які забезпечать певне згладжування шумів від перехідних теплових процесів в об'ємних датчиках.

Джерело живлення 3, виходи якого подані на вершини в/ і vs вимірювального моста, повинне забезпечувати достатню потужність енергоживлення моста. Вимог до його стабільності по напрузі або струму не пред'являється. Бажаний малий рівень вихідних шумів і пульсацій. Це може бути джерело сталої напруги або струму.

Якщо передбачається наявність термо-ЕРС в ланцюгах датчиків, то використовується джерело живлення змінного або знакозмінного струму з частотою, достатньою для отримання не менш двох послідовних відліків аналогово-цифрових перетворювачів на період.

При необхідності дистанційного розміщення датчиків температури разом з датчиками розміщується весь вимірювальний міст і входами-виходами шестидротовою лінією сполучається з БПО і ДЖ так, як це показано на Фіг.2. При цьому опори дрітків не впливають на результат вимірювань, оскільки опір струмових дрітків підсумовується з великим внутрішнім опором джерела (в цьому

випадку доцільно використати джерело струму), а опір потенційних дрітків (з виходів моста) підсумовується з високим вхідним опором АЦП.

Вимірювач температури працює таким чином.

Рівняння теплового балансу i -го датчика температури зі середовищем має вигляд [3, 4]

$$P_i(t) = [\theta_i(t) - \theta_c(t)]\alpha_i(t)S_i + m_i c_i \dot{\theta}_i(t), \quad (7)$$

де $P_i(t)$ - потужність нагріву i -го датчика робочим струмом;

$\theta_i(t)$ - миттєва середньообъемна температура i -го датчика;

$\dot{\theta}_i(t)$ - миттєва похідна температури i -го датчика;

$\theta_c(t)$ - миттєва температура середовища, що вимірюється;

$\alpha_i(t)$ - коефіцієнт теплообміну i -го датчика зі середовищем (визначається конструктивними параметрами датчика, фізичними параметрами середовища і швидкістю потоку, що омиває);

m_i, c_i, S_i - конструктивні параметри i -го датчика (маса, питома теплоємність, площа зовнішньої поверхні теплообміну);

$i=1,2$.

Передбачається, що відношення коефіцієнтів теплообміну $\gamma = \alpha_2(t)/\alpha_c(t)$ для двох конкретних датчиків постійно і відомо.

Рішення системи рівнянь теплового балансу вигляду (7) для двох датчиків відносно температури зовнішнього середовища $\theta_c(t)$, що вимірюється, і коефіцієнта теплообміну $\alpha_c(t)$ має вигляд [3]

$$\theta_c(t) = \frac{\theta_1(t)S_1[P_2(t) - m_2c_2\dot{\theta}_2(t)] - \theta_2(t)S_2[P_1(t) - m_1c_1\dot{\theta}_1(t)]}{S_1[P_2(t) - m_2c_2\dot{\theta}_2(t)] - S_2[P_1(t) - m_1c_1\dot{\theta}_1(t)]}; \quad (8)$$

$$\alpha_c(t) = \frac{(S_2\gamma)^{-1}[P_2(t) - m_2c_2\dot{\theta}_2(t)] - S_1^{-1}[P_1(t) - m_1c_1\dot{\theta}_1(t)]}{\theta_2(t) - \theta_1(t)}. \quad (9)$$

При приміщенні першого і другого датчиків в середовище між датчиками і середовищем встановлюється тепловий баланс згідно з рівнянням 7.

По напругах U_1, U_2, U_3 і U_4 , що знімаються з вершин вимірювального моста і що перетворюються в цифровий код аналогово-цифровими перетворювачами, згідно з формулами 5 обчислюються опори першого $R_{\theta 1}$ та другого $R_{\theta 2}$ датчиків.

За градувальними характеристиками датчиків і вимірними опорами $R_{\theta 1}$ і $R_{\theta 2}$ визначаються температури першого $\theta_1(t)$ і другого $\theta_2(t)$ датчиків. Для лінійних датчиків градувальною характеристикою є вираз 3. По ряді відліків температур $\theta_i(t)$ відомим способом (по двох або більш відліках) визначаються похідні температур $\dot{\theta}_i(t)$ датчиків.

По вимірних напругах U_1, U_2, U_3 і U_4 і відомих опорах зразкових резисторів R_1, R_2, R_3, R_4 згідно з виразами 6 обчислюються миттєві потужності нагріву першого $P_1(t)$ і другого $P_2(t)$ датчиків.

Далі по виразах 8 і 9 обчислюються температура середовища $\theta_c(t)$, що вимірюється, і коефіцієнти теплообміну датчика зі середовищем $\alpha_1(t)$ і $\alpha_2(t) = \gamma\alpha_1(t)$.

Всі обчислювальні операції виконуються в цифровому вигляді мікропроцесором в реальному часі або ЕОМ при апостеріорній обробці даних по значеннях напруг з виходів моста.

У останньому випадку мікропроцесор 8 виконує функції накопичення і зберігання даних.

Обчислювальні процедури спрощуються, якщо датчики ідентичні по конструктивних параметрах (m, c, S), але відрізняються електричними режимами нагріву. У цьому випадку

$$\theta_c(t) = \frac{\theta_1(t)[P_2(t) - mc\dot{\theta}_2(t)] - \theta_2(t)[P_1(t) - mc\dot{\theta}_1(t)]}{[P_2(t) - mc\dot{\theta}_2(t)] - [P_1(t) - mc\dot{\theta}_1(t)]}; \quad (10)$$

$$\alpha_c(t) = \frac{[P_2(t) - mc\dot{\theta}_2(t)] - [P_1(t) - mc\dot{\theta}_1(t)]}{S[\theta_2(t) - \theta_1(t)]}. \quad (11)$$

Таким чином, цифровий вимірювач температури забезпечує вимірювання миттєвої температури середовища і миттєвого коефіцієнта теплообміну датчика зі середовищем, інваріантний до параметрів джерела живлення, не посилює власні шуми вимірювального моста і в ньому повністю використовується динамічний діапазон аналогово-цифрового перетворювача. Це забезпечує високу точність вимірювання.

Для підвищення гнучкості і можливості адаптації вимірювального моста до датчиків температури з різними електричними параметрами (R_0, α) і при зміні діапазону температур (θ_0, θ_m), що вимірюються, зразкові резистори R_1, R_2, R_3, R_4 виконуються змінними, необхідні номінали яких встановлюються програмне мікропроцесором.

У разі малої тимчасової мінливості температури, що вимірюється, або великої теплової інерції датчиків температури, або дуже високої швидкодії аналогово-цифрового перетворювача, для спрощення пристрою блок перетворення й обробки виконують, як зображено на Фіг.4, в складі комутатора К 9 на чотири диференціальні входи, виходи якого подані на диференціальні входи аналогово-цифрового перетворювача АЦП 10, цифрові виходи-виходи якого з'єднані з входами-виходами мікропроцесора МП 11. При цьому чотири диференціальні входи комутатора 9 є входами блока 2 перетворення й обробки.

Джерела інформації:

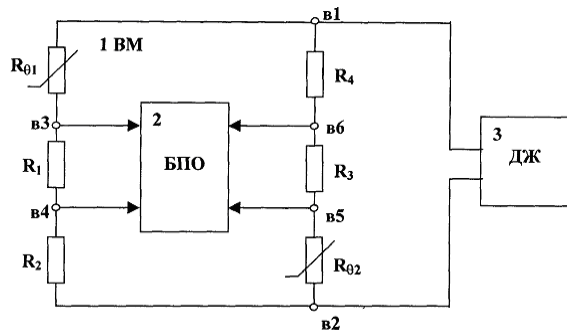
1. Коротков П. А., Лондон Г. Е. Динамічні контактні вимірювання теплових величин. - Л.: Машинобудування (Ленінградське відділення), 1974, - 224с.

2. Азизов А. М., Гордов А. Н. Точність вимірювальних перетворювачів. Л.: Енергія, 1975, - 256с.

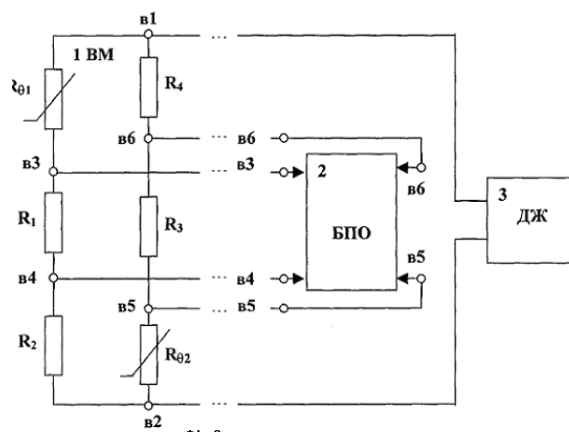
3. Гайський В. О., Гайський П. В. Аналіз способів вимірювання профілю швидкості потоку термопрофілемірами // Системи контролю навколишнього середовища: 36. наук. тр. / НАН України. МП, Севастополь, 2001, - С. 7-22.

4. Левшина Е. С., Новіцкий П. В. Електричні вимірювання фізичних величин: (Вимірювальні перетворювачі). Навч. підручник для вузів. Л.: Энергоатоміздат. Ленінградське від-я, 1983, - 320 с, іл.

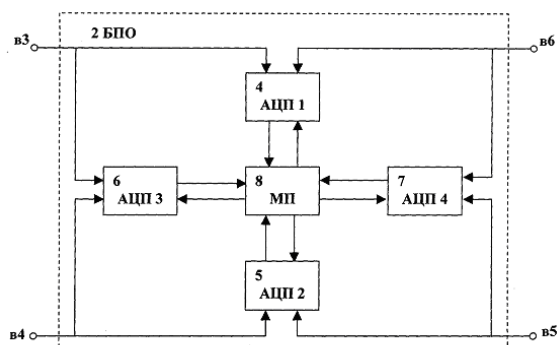
5. Патент РФ на винахід № 2072722, 6G01K7/20. Цифровий вимірювач температури. Оубл. в бюл. РФ "Изобретения", №3, 27.01.97, С. 296-297 - прототип.



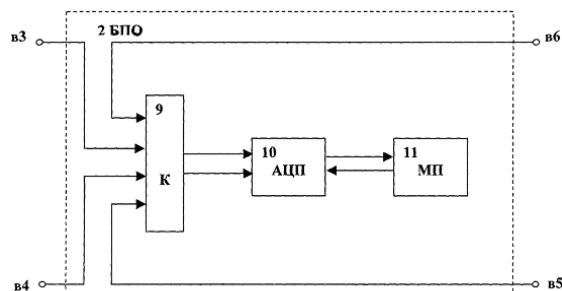
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4