



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 34604

(13) A

(51) 6 G01K7/16

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

(21) 98063404

(22) 30 06 1998

(24) 15 03 2001

(46) 15 03 2001, Бюл. № 2, 2001 р

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Маковська
Вікторія Юріана(73) ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛО-
ВОСТІ УКРАЇНИ

(57) 1 Спосіб вимірювання низьких температур, який полягає у тому, що через терморезистор, який розташований у контрольованому середовищі, пропускають вимірювальний постійний струм та вимірюють падіння напруги на ньому, підігривають терморезистор імпульсним електричним струмом заданого значення і вимірюють падіння напруги на підігрітому терморезисторі, який відрізняється тим, що терморезистор розташовують на одному кінці керованого теплопроводу де вимірюється температура, другий кінець керованого теплопроводу розташовують у навколишньому середовищі з оточуючою температурою середовища, переривають потік тепла через теплопровід і вимірюють падіння напруги на терморезисторі пропускаючи через терморезистор вимірювальний змінний струм, пропускають потік тепла через теплопровід та вимірюють падіння напруги на підігрітому терморезисторі, додатково підігривають терморезистор постійним електричним струмом, який вибирають з умови постійної розсіюваної потужності на терморезисторі у всьому діапазоні вимірюваних температур, де розсіювану потужність вибирають з умови підвищення температури терморезистивного термометра на 50-100 порогов чутливості термометра, вимірюють падіння напруги на додатково підігрітому терморезисторі, знову переривають потік тепла через теплопровід і вимірюють падіння напруги на охолодженому терморезисторі, потім виключають постійний електричний струм підігріву, що веде до подальшого охолодження терморезистора до початкової вимірюваної температури, а температуру визначають за формулою

$$\Theta_x = \frac{(U_2^I - U_1^I) \{ (U_4^I - U_3^I) - (U_2^I - U_1^I) \}}{(U_2^I - U_1^I) \{ (U_4^I - U_3^I) - (U_2^I - U_1^I) \}} \Theta_1$$

де Θ_1 - температура ідентифікації, яка відома за своїм числовим значенням і встановлюється у

даному контрольованому середовищі перед початком експлуатації терморезистивного термометра,

U_1^I та U_1^II - падіння напруги на терморезисторі при ідентифікації Θ_1 та вимірюванні невідомої температури Θ_x , коли перерваний потік тепла через теплопровід,

U_2^I та U_2^II - падіння напруги на терморезисторі при ідентифікації Θ_1 та вимірюванні невідомої температури Θ_x при проходженні тепла через теплопровід,

U_3^I та U_3^II - падіння напруги на терморезисторі при ідентифікації Θ_1 та вимірюванні невідомої температури Θ_x на додатково підігрітому терморезисторі,

U_4^I та U_4^II - падіння напруги на терморезисторі при ідентифікації Θ_1 та вимірюванні невідомої температури Θ_x на охолодженому терморезисторі

2 Пристрій для вимірювання низьких температур, який складається з терморезистора, керованого джерела змінного струму, до якого під'єднаний терморезистор аналогово-цифрового перетворювача напруги, ЕВМ, що входом з'єднана з кодовими виходами аналогово-цифрового перетворювача напруги, цифрового індикатора, що під'єднаний до першого виходу ЕВМ, першого цифроаналогового перетворювача напруги, що кодовими виходами під'єднаний до другого виходу ЕВМ, а аналоговими виходами під'єднаний до входу керованого джерела змінного струму, який відрізняється тим, що у нього введені фільтр низьких та фільтр високих частот, перетворювач змінної напруги у постійну, другий цифроаналоговий перетворювач напруги, теплопровід на основі теплової труби з обмоткою електромагніта постійного струму, аналогові виходи першого цифроаналогового перетворювача напруги, що кодовими виходами під'єднаний до другого виходу ЕВМ, через фільтр нижчих частот під'єднані до зажимів терморезистора, які через фільтр високих частот під'єднані до входу перетворювача змінної напруги у постійну, вихід якого під'єднаний до входу аналогово-цифрового перетворювача напруги, обмотка електромагніту постійного

(19) UA (11) 34604 (13) A

електричного струму під'єднання до аналогового виходу другого цифроаналогового перетворювача напруги, кодові входи якого підключаються до

третього виходу ЕВМ, а керуючий вхід джерела змінного струму під'єднаний до четвертого виходу ЕВМ

Винахід відноситься до області вимірювальної техніки і может бути застосований для підвищення точності виміру низьких температур терморезистивним термометром у важкодоступних об'єктах та агресивних середовищах.

У криогенній техніці, низькотемпературних технологіях та інших галузях науки і техніки широко використовуються терморезистивні термометри з різною захисною арматурою. Найбільш широкого використання набули терморезистори з міді, свинцю та різних металічних сплавів, як найбільш дешеві і достатньо чутливі у широкому діапазоні низьких температур. Але термометри з металічними терморезисторами мають низьку стабільність і погану відтворюваність характеристик, особливо при роботі у агресивних середовищах. Так, мідь – легко окислюється і реагує з навколишнім середовищем, тому їх треба періодично перевіряти. Але це у більшості випадків є неможливим у зв'язку з тим, що терморезистори розміщені у важкодоступних об'єктах, і їх демонтаж у цьому випадку значно утруднюється.

Відомий спосіб виміру низьких температур за А.С. СРСР № 415513 G01K7/16, 1971, який полягає у тому, що через терморезистор пропускають вимірювальний струм, вимірюють падіння напруги на терморезисторі і регулюють вимірювальний струм до отримання заданого значення падіння напруги, потім обмотці надають теплову дію, що змінює опір R , вимірюють падіння напруги на підігрітому терморезисторі від раніше встановленого вимірювального струму і вимірюють різницю між новим падінням напруги і заданим, з якої визначають вимірювану температуру.

Недоліком цього способу є необхідність переривання теплової дії (температури) при встановленні значення вимірювального струму на терморезисторі. Крім того вплив нестійкості температурного коефіцієнту опору (ТКО) у процесі експлуатації також не виключається.

Відомий також спосіб виміру низьких температур за А.С. СРСР № 685936 G01K7/16, 1977, який полягає у тому, що через терморезистор, який розташований у контрольованому середовищі, пропускають вимірювальний постійний струм та вимірюють падіння напруги на ньому, підігрівають терморезистор імпульсним електричним струмом заданого значення і вимірюють падіння напруги на підігрітому терморезисторі.

Крім того при нагріві терморезистора імпульсним електричним струмом заданого значення вихідну напругу терморезистивного перетворювача перед нагрівом зменшують у задану кількість разів, а нагрів терморезистора здійснюють, змінюючи тривалість імпульсів до

отримання початково вимірюваного значення напруги перетворювача.

Відомий пристрій для вимірювання низьких температур (див Орлова М.П. та інші, низькотемпературная термометрия. : Учебное пособие М.П. Орлова, О.Ф. Погорелова, С.А. Улыбина, – М., Энергоатомиздат, 1987, стор. 231–232), у якому послідовно з терморезистором з опором R_x включена зразкова катушка з опором R_0 , змінний резистор, амперметр і джерело постійного струму. У схему термометра входить нормальний елемент і потенціометр, за допомогою якого вимірюється падіння напруги на терморезисторі і зразковій катушці. Для виключення впливу нестійкості електричного струму вимірюють відношення падіння напруг, з якого визначають опір терморезистора.

Але нестабільність початкового опору терморезистора та його ТКО спричиняють великі похибки при вимірюванні температури термометром при роботі у промислових умовах.

Відомий також пристрій для вимірювання низьких температур за А.С. СРСР № 1364911, кл. G01K7/16, 1986 (Б.В. № 1, 1988), який складається з терморезистора, керованого джерела змінного струму, до якого під'єднаний терморезистор, аналого-цифрового перетворювача напруги, ЕВМ, що входом з'єднана з кодовими виходами аналого-цифрового перетворювача, цифрового індикатора, що під'єднаний до першого виходу ЕВМ, аналого-цифрового перетворювача напруги, що кодовими входами під'єднаний до другого виходу ЕВМ, а аналоговими виходами під'єднаний до входу керованого джерела змінного струму.

Крім того пристрій має низькоомний резистор, що включений послідовно з терморезистором, перетворювач опору у напругу та перетворювач струму у напругу і мультиметр, керуючий вхід якого з'єднаний з третім виходом ЕВМ, а керуючий вхід джерела змінного (вимірювального) струму під'єднаний до виходу цифроаналогового перетворювача напруги.

Відомий пристрій дозволяє виключити вплив нелінійності характеристик тільки для вузького класу терморезисторів з логарифмічною залежністю опору від температури (термістори). При роботі з металевими терморезисторами виникають великі похибки від нестабільності його параметрів та нелінійності перетворювальної характеристики.

В основу винаходу покладена задача створення такого способу виміру низьких температур та пристрою для його здійснення, у яких введення нових операцій по нагріву та охолодженню терморезистора, стабілізації потужності нагріву у способі, введення нових елементів та зв'язків у пристрій, дозволило б для будь-яких типів терморезисторів з різним виглядом неліній-

ності отримати точні результати вимірювання без використання їх градуировочних характеристик на протязі всього часу експлуатації

Поставлена задача вирішується тим, що у способі вимірювання низьких температур, який полягає у тому, що через терморезистор, який розташований у контрольованому середовищі, пропускають вимірювальний постійний струм та вимірюють падіння напруги на ньому, підігрівують терморезистор імпульсним електричним струмом заданого значення і вимірюють падіння напруги на підігрітому терморезисторі, згідно винаходу терморезистор розташовують на одному кінці керованого теплопроводу, де вимірюється температура, другий кінець розташовують у навколишньому середовищі з оточуючою температурою середовища, переривають потік тепла через теплопровід і вимірюють падіння напруги на терморезисторі, пропускаючи через нього вимірювальний змінний струм, пропускають потік тепла по теплопроводу та вимірюють падіння напруги на підігрітому терморезисторі, додатково підігрівують терморезистор постійним електричним струмом, який вибирають з умови постійної розсіюваної потужності на терморезисторі у всьому діапазоні вимірюваних температур, де розсіювану потужність вибирають з умови підвищення температури терморезистивного термометра на 50-100 порогов чутливості термометра, вимірюють падіння напруги на додатково підігрітому терморезисторі знову переривають потік тепла через теплопровід і вимірюють падіння напруги на охолодженому терморезисторі, потім виключають постійний електричний струм підігріву, що веде до подальшого охолодження терморезистора до початкової вимірюваної температури, а температуру визначають за формулою

$$\Theta_x = \frac{(U_2'' - U_1'')[(U_4' - U_3') - (U_2' - U_1')]}{(U_2' - U_1')[(U_4' - U_3') - (U_2'' - U_1'')] } \Theta_1,$$

де Θ_1 - температура ідентифікації, яка відома за своїм числовим значенням і встановлюється у даному контрольованому середовищі перед початком експлуатації терморезистивного термометра,

U_1' та U_1'' - падіння напруги на терморезисторі при ідентифікації Θ_1 та вимірюванні невідомої температури Θ_x , коли перерваний потік тепла через теплопровід,

U_2' та U_2'' - падіння напруги на терморезисторі при ідентифікації Θ_1 та вимірюванні невідомої температури Θ_x , при проходженні тепла через теплопровід,

U_3' та U_3'' - падіння напруги на терморезисторі при ідентифікації Θ_1 та вимірюванні невідомої температури Θ_x , на додатково підігрітому терморезисторі,

U_4' та U_4'' - падіння напруги на терморезисторі при ідентифікації Θ_1 та

вимірюванні невідомої температури Θ_x , на охолодженому терморезисторі

Поставлена задача також вирішується тим, що пристрій для вимірювання низьких температур, який складається з терморезистора, керованого джерела змінного струму до якого під'єднаний терморезистор, аналогово-цифрового перетворювача напруги ЕВМ, що входом з'єднаний з кодовими виходами аналогово-цифрового перетворювача напруги, цифрового індикатора, що під'єднаний до першого виходу ЕВМ першого цифроаналогового перетворювача напруги, що кодовими виходами під'єднаний до другого виходу ЕВМ, а аналоговими виходами під'єднаний до входу джерела змінного струму, згідно винаходу у нього введені фільтр низьких та фільтр високих частот, перетворювач змінної напруги у постійну, другий цифроаналоговий перетворювач напруги, теплопровід на основі теплової труби з обмоткою електромагніта постійного струму, аналогові виходи першого цифроаналогового перетворювача напруги, що кодовими виходами під'єднаний до другого виходу ЕВМ, через фільтр нижчих частот під'єднаний до зажимів терморезистора, які через фільтр високих частот під'єднаний до входу перетворювача змінної напруги у постійну, вихід якого з'єднаний з входом аналогово-цифрового перетворювача напруги обмотка електромагніту постійного електричного струму під'єднана до аналогового виходу другого цифроаналогового перетворювача напруги, кодові виходи якого підключаються до третього виходу ЕВМ, а керуючий вхід джерела змінного струму під'єднаний до четвертого виходу ЕВМ

При початковій зменшеній теплопровідності теплопроводу, коли переривають потік тепла крізь нього температура терморезистивного термометра приблизно досягає значення контрольованої температури, послідовне збільшення теплопровідності теплопроводу, при проходженні деякої частини тепла крізь теплопровід, спричиняє нагрів терморезистора, подальший додатковий нагрів терморезистора постійним електричним струмом, що вибирається з умови постійності розсіюваної потужності на терморезисторі під час ідентифікації та вимірювання невідомої температури, та послідовне зменшення теплопровідності крізь теплопровід, коли переривають потік тепла крізь нього, призводить до охолодження терморезистора, забезпечує отримання результатів безпосереднього вимірювання, що завдяки своїй часовій надмірності, дозволяє виключити вплив нестабільності та нелінійності характеристики терморезистора на результати вимірювання та отримання результатів достатньої точності у широкому діапазоні вимірювання низьких температур

Введення у структуру терморезистивного термометра на основі ЕВМ, фільтра нижчої та фільтра високої частоти, теплопроводу на основі теплової труби з обмоткою електромагніта постійного струму, що живиться від додаткового цифроаналогового перетворювача, який під'єднаний до ЕВМ, включення інших елементів у певній послідовності дозволяє по черзі нагрівати та охо-

піджувати терморезистор, проводячи вимірювання чотирьох значень падіння напруги на терморезисторі, за допомогою ЕВМ автоматично вираховувати необхідне значення постійного електричного струму підігріву з умови постійності розсіювання потужності на терморезисторі, чисельна обробка результатів виміру, дозволяють виключити похибки, які спричиняються від нелінійності та нестабільності характеристики терморезистора.

На фіг. 1 зображена структурна схема терморезистивного термометра низьких температур.

На фіг. 2 – характеристика терморезистора в області низьких температур з апроксимуючими дотичними.

На фіг. 3 – часова діаграма зміни температури терморезистора при додаткових теплових діях.

На фіг. 4 – блок-схема алгоритму роботи терморезистивного термометра.

Терморезистивний термометр (фіг. 1) складається з терморезистора 1, магнітокерованої теплової труби 2 з обмоткою електромагніта 3 постійного струму. Терморезистор 1 підключений до джерела змінного електричного (вимірювального) струму 4 та до входу фільтра верхніх частот 5, вихід якого через перетворювач змінної напруги у постійну 6 з'єднаний з аналоговими входами аналогово-цифрового перетворювача напруги 7. ЕВМ 8 входом з'єднаний з кодовими виходами аналогово-цифрового перетворювача напруги 7, першим входом з цифровим індикатором 9, другим виходом з кодовими входами цифроаналогового перетворювача 10, аналогові виходи якого через фільтр нижчих частот 11 під'єднані до зажимів терморезистора 1. Третій вихід ЕВМ 8 з'єднаний з кодовими входами цифроаналогового перетворювача напруги 12, аналогові виходи якого під'єднані до обмотки електромагніту постійного струму 3.

Теплова труба на об'єкті розміщена таким чином, що один її кінець з терморезистором на торці розміщений у середовищі з контрольованою температурою Θ_x , а другий кінець знаходиться у навколишньому середовищі з оточуючою температурою Θ_{oc} .

Суть способу заключається у наступному. Терморезистор 1 розміщують у зоні конденсації теплової труби 2, що розташована у середовищі з контрольованою від'ємною температурою – Θ_x . Протилежний кінець теплової труби 2, тобто зона випаровування, розташована у навколишньому середовищі з оточуючою температурою Θ_{oc} ($-\Theta_x \ll \Theta_{oc}$). У якості регульованого теплопроводу застосовують парамагнітний парорідкий носій магнітокеруючої теплової труби, що містить у своєму складі обмотку електромагніта постійного струму 3, який керує проходженням парорідкого носія через теплопровід, тобто теплопровідністю. Коли постійний струм електромагніту 3 створює потужне магнітне поле – це перешкоджає руху парамагнітного носія (наприклад, кисень O_2 , азот N_2) від більш нагрітої зони – випаровування до менш нагрітої зони – конденсації, де знаходиться

терморезистор 1. Таким чином потік тепла переривається і теплопровідність стає мінімальною – остаточною, яка визначається значенням теплопровідності металу самої теплової труби та довжиною її корпусу. Такий стан відповідає "закритому стану" теплової труби.

Коли дещо зменшити значення постійного струму, який протікає по обмотці електромагніту, що призведе до деякого зменшення потужності магнітного поля, це призведе до незначного проходження теплоносія крізь теплопровід від зони випаровування до зони конденсації і температура у зоні конденсації дещо підвищиться. Як наслідок підвищиться температура терморезистора. Цей стан відповідає "деякому відчиненню" теплової труби.

При перериванні дії потоку теплоносія температура терморезистора буде визначатися остаточною теплопровідністю теплопроводу (див. Преображенский В.П., Теплотехнические измерения и приборы: Учебник, 3-е изд. – М.: Энергия, 1978, стор. 238–239):

$$-\Theta_T = -\Theta_x + \frac{\Theta_{oc} + \Theta_x}{ch(lm)}, \quad (1)$$

де Θ_T – температура терморезистора;

$ch(lm)$ – гіперболический косинус;

m – коефіцієнт, що залежить від теплофізичних та геометричних параметрів теплової труби;

l – довжина теплової труби.

Для металеві труби коефіцієнт m дорівнює:

$$m = \sqrt{\frac{2\alpha}{\lambda\delta}}, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі в оточуюче середовище;

λ – коефіцієнт теплопровідності металеві труби;

δ – товщина стінки труби.

Якщо температура оточуючого середовища близька до 0°C , то вираз (1) приймає вигляд:

$$-\Theta_T = -\Theta_x \left(1 - \frac{1}{ch(lm)} \right) = -\Theta_x (1 - \Delta p), \quad (3)$$

де $\Delta p = \frac{1}{ch(lm)}$ – остаточний коефіцієнт передачі

тепла керованого теплопроводу, що дещо підвищує температуру терморезистора (Δp).

Залежність опору терморезисторів, виготовлених з різних металів та неметалів, у загальному випадку нелінійна та апроксимується для від'ємних температур поліномом виду (див. ДСТУ 2858-94 або ГОСТ 6651-94, стор. 37–38):

$$R_t = R_0 \left(1 + \sum_{n=0}^n A_n \Theta_x^n \right), \quad (4)$$

де R_0 – опір терморезистора при $\Theta_0 = 0^\circ\text{C}$;

n – кількість членів у поліномі.

У вузькому діапазоні змін температури Θ_x залежність приймає вигляд:

$$R_t = R_0(1 + \beta \Theta_x), \quad (5)$$

де β – температурний коефіцієнт опору.

При зміні температури у широкому діапазоні значень необхідно враховувати нелінійність характеристик терморезисторів (4). Для виключення похибки від нелінійності терморезистора проводять ідентифікацію метрологічних властивостей терморезистора на теплопроводі у контрольованому середовищі у діапазоні температурних значень. Температуру ідентифікації вибирають з умови:

$$\Theta_t = \sqrt{\Theta_{\max} \Theta_{\min}}, \quad (6)$$

де Θ_{\max} та Θ_{\min} – максимальна та мінімальна температура діапазону вимірювання.

Ділянку нелінійної характеристики у околі Θ_t (фіг. 2) апроксимують дотичною. Тоді для малих змін температури $\Delta\Theta$ ($\Delta\Theta \ll \Theta_t$) зміна опору ΔR_t здійснюється по дотичній відносно початкового значення ΔR_0 . При інших значеннях вимірюваної температури ($\Theta_x \ll \Theta_t$) зв'язок між ΔR_t та $\Delta\Theta_x$ здійснюється по дотичній, параметри якої визначаються новими значеннями температури. Залежність опору терморезистора в околі Θ_t має вигляд:

$$R_t = (\Theta_0 - \Theta_t) \operatorname{tg} \varphi_t, \quad (7)$$

де Θ_0 – нульовий коефіцієнт дотичної по осі температур;

$\operatorname{tg} \varphi_t$ – кутовий коефіцієнт дотичної, що дорівнює похідній по температурі

$$\operatorname{tg} \varphi_t = \frac{d}{d\Theta} \left(\sum_{n=0}^n A_n \Theta_t^n \right) \text{ у точці } \Theta_t.$$

Нульовий коефіцієнт дотичної визначається співвідношенням:

$$\Theta_0 = (R_0 - \Delta R_t) \operatorname{tg} \varphi_t, \quad (8)$$

де ΔR_t – зміна опору R_0 із-за нелінійності характеристики.

Де кутовий коефіцієнт дотичної визначається дотичною.

$$\operatorname{tg} \varphi_t = \beta_t (R_0 - \Delta R_t), \quad (9)$$

де β_t – температурний коефіцієнт опору терморезистора при температурі Θ_t .

Підставляючи Θ_0 і $\operatorname{tg} \varphi_t$ з (8) та (9) у вираз (7), маємо:

$$R_t = (R_0 - \Delta R_t)(1 + \beta_t \Theta_t). \quad (10)$$

Враховуючи остаточну теплопровідність від оточуючого середовища згідно (3) маємо:

$$R_t = (R_0 - \Delta R_t)(1 + \beta_t(1 - \Delta\rho)\Theta_t). \quad (11)$$

Для вимірювання опору R_t через терморезистор пропускають вимірювальний струм I_0 , який вибирають з умови нагріву терморезистора на величину, що менша порогу чутливості термометра $\Delta\Theta_t$.

Потужність, що розсіюється на терморезисторі, визначається.

$$P_0 = I_0^2 R_t. \quad (12)$$

Підігрів терморезистора здійснюють на температуру:

$$\Delta\Theta_t = \frac{I_0^2 R_t}{\alpha F}, \quad (13)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі від терморезистора до торця теплової труби і до контрольованого середовища;

F – площа поверхні теплообміну.

Нетеплове значення вимірювального струму I_0 треба вибирати з умови:

$$\frac{I_0^2 R_t}{\alpha F} \leq \Delta\Theta_t. \quad (14)$$

Згідно.

$$I_0 \leq \sqrt{\frac{\alpha F \Delta\Theta_t}{R_t}}. \quad (15)$$

Потім код вимірювального струму I_0 заноситься у пам'ять ЕВМ, що передає значення цього коду у джерело змінного струму 4 (фіг. 1).

Послідовність вимірів при ідентифікації, де Θ_t – відома за своїм числовим значенням температура, та вимірювання невідомої температури Θ_x проводять у аналогічній послідовності.

Проведення процесу ідентифікації здійснюється наступним чином.

Коли потік тепла перерваний через теплопровід, то це відповідає стану "закритий" теплової труби, вимірюють падіння напруги на терморезисторі, що створюється при протіканні постійного електричного струму через терморезистор, згідно (3) та (10):

$$U_1^1 = I_0 (R_0 - \Delta R_t)(1 + \beta(1 - \Delta\rho^1)\Theta_t). \quad (16)$$

де $\Delta\rho^1$ – остаточна теплопровідність у процесі ідентифікації, що зумовлена втратою тепла через корпус теплової труби.

Потім послаблюють дію магнітного поля, що спричиняє до деякого проходження тепла через теплопровід. Це викликає підвищення температури, що спричинене додатковою теплопровідністю ρ^1 у процесі ідентифікації ($\rho^1 > \Delta\rho^1$). По закінченню часового інтервалу Δt ($\Delta t = (2 \dots 3)\tau$, де τ – стала нагріву терморезистора, вимірюється значення падіння напруги на терморезисторі:

$$U_2^1 = I_0 (R_0 - \Delta R_t)(1 + \beta(1 - \Delta\rho^1 - \rho^1)\Theta_t). \quad (17)$$

Після чого вираховують значення постійного електричного струму підігріву, що вибирається з умови постійності розсіюваної потужності на терморезисторі.

Для цього визначають опір терморезистора на даний момент часу:

$$R_x^I = \frac{U_2^I}{I_0} \quad (18)$$

Опісля вираховують значення постійного електричного струму підігріву терморезистора згідно (15) з умови підвищення температури на 50...100 порогів чутливості термометра $\Delta\Theta_n$:

$$I_1^I = \sqrt{\frac{\alpha F(50...100)\Delta\Theta_n}{R_x^I}} \quad (19)$$

Пропускають цей струм I_1^I і через час Δt вимірюють падіння напруги на додатково підігрітому терморезисторі:

$$U_3^I = I_0 (R_0 - \Delta R_x)(1 + \beta(1 - \Delta\rho^I)(\Theta_x + \Delta\Theta)), \quad (20)$$

де $\Delta\Theta$ — підвищення температури терморезистора, що спричинене підігрівом терморезистора постійним електричним струмом підігріву.

Потім знову переривають потік тепла через терморезистор, що спричинює охолодження терморезистора, і через час Δt вимірюють значення падіння напруги на підігрітому терморезисторі:

$$U_4^I = I_0 (R_0 - \Delta R_x)(1 + \beta(1 - \Delta\rho^I)(\Theta_x + \Delta\Theta)). \quad (21)$$

Після цього виключають постійний електричний струм підігріву, що спричинює охолодження терморезистора до початкового значення температури, і через час Δt терморезистивний термометр готовий до наступного циклу вимірів, а результати вимірів $U_1^I, U_2^I, U_3^I, U_4^I, I_0, \Delta t$ заносяться у пам'ять ЕВМ 8, як результати ідентифікації при відомій температурі Θ_x .

При вимірюванні невідомої температури опір терморезистора у околі точки Θ_x приймає вигляд (фіг. 2):

$$R_{ix} = (\Theta_{x0} - \Theta_x) \lg \varphi_x \quad (22)$$

Підставляючи значення Θ_{x0} та $\lg \varphi_x$ аналогічно (7)–(10) маємо:

$$R_{ix} = (R_0 - \Delta R_x)(1 + \beta_x(1 - \Delta\rho^I)\Theta_x), \quad (23)$$

де ΔR_x — зміна опору терморезистора у новій точці характеристики;

β_x — температурний коефіцієнт опору при температурі Θ_x ;

$\Delta\rho^I$ — остаточна теплопровідність при температурі Θ_x .

Згідно процесу ідентифікації спочатку вимірюють значення падіння напруги, коли перерваний потік тепла через теплопровід:

$$U_1^I = I_0 (R_0 - \Delta R_x)(1 + \beta_x(1 - \Delta\rho^I)\Theta_x). \quad (24)$$

Потім пропускають потік тепла через теплопровід і через час Δt вимірюють значення падіння напруги на підігрітому терморезисторі:

$$U_2^I = I_0 (R_0 - \Delta R_x)(1 + \beta_x(1 - \Delta\rho^I - \rho^I)\Theta_x), \quad (25)$$

де $\Delta\rho^I$ — додаткова теплопровідність при температурі Θ_x .

Після цього визначають значення постійного електричного струму підігріву I_x .

Для цього визначають опір терморезистора на даний момент часу по формулі:

$$R_x^I = \frac{U_2^I}{I_0} \quad (26)$$

Потім вираховують постійний електричний струм підігріву:

$$I_x = \sqrt{\frac{\alpha F(50...100)\Delta\Theta_n}{R_x^I}} \quad (27)$$

Пропускають цей струм підігріву і через час Δt визначають значення падіння напруги на додатково підігрітому терморезисторі:

$$U_3^I = I_0 (R_0 - \Delta R_x)(1 + \beta_x(1 - \Delta\rho^I - \rho^I)(\Theta_x + \Delta\Theta)). \quad (28)$$

Після цього переривають потік тепла через теплопровід, внаслідок чого терморезистор охолоджується і через час Δt вимірюють значення падіння напруги на додатково охолодженному терморезисторі:

$$U_4^I = I_0 (R_0 - \Delta R_x)(1 + \beta_x(1 - \Delta\rho^I)(\Theta_x + \Delta\Theta)). \quad (29)$$

Потім виключають постійний електричний струм підігріву і терморезистор охолоджується до початкової температури, внаслідок чого терморезистивний термометр готовий до наступного циклу вимірів.

По результатам вимірів при невідомій температурі Θ_x ($U_1^I, U_2^I, U_3^I, U_4^I$) та ідентифікації при температурі Θ_x ($U_1^I, U_2^I, U_3^I, U_4^I$) визначають виміряну температуру Θ_x . Вирішуюмо рівняння (16)–(17), (20)–(21), (24)–(25), (28)–(29) відносно невідомої температури Θ_x і отримаємо:

$$\Theta_x = \frac{(U_2^I - U_1^I)[(U_4^I - U_3^I) - (U_2^I - U_1^I)]}{(U_2^I - U_1^I)[(U_4^I - U_3^I) - (U_2^I - U_1^I)]} \Theta_x \quad (30)$$

Після чого значення Θ_x виводиться на цифрове табло як результат виміру.

Таким чином, спричиняючи додаткові теплові дії на терморезистивний термометр, завдяки алгоритмічно-часовій надмірності вдається уникнути трудомісного процесу створення градуированих таблиць, що з часом втрачають свою достовірність через нестабільність початкового опору, призводячи таким чином до значної похибки вимірювання. Крім того вдається виключити

вплив всіх нестабільних теплофізичних факторів на характеристику терморезистора: початкового температурного опору R_0 , зміни температурного опору у процесі ідентифікації ΔR_1 та вимірювання невідомої температури ΔR_2 , непостійності остаточних і додаткових теплопровідностей у процесі ідентифікації $\Theta_1 (\Delta \rho^1, \rho^1)$ та вимірюванні невідомої температури $\Theta_2 (\Delta \rho^2, \rho^2)$, непостійних температурних коефіцієнтів опору (β_1, β_2) і завдяки часовій надмірності проводити обрахунок невідомої вимірюваної температури Θ_2 тільки на основі безпосередніх вимірювань напруги, не застосовуючи для обрахунку будь-які фізичні величини. Крім того даний спосіб може бути застосований для вимірювання терморезистивним термометром, чутливий елемент якого має нелінійну та нестабільну градуїровочну характеристику.

Пристрій працює наступним чином (фіг. 4).

Після введення у пам'ять ЕВМ всіх необхідних даних (оператор 2), ЕВМ 8 виробляє сигнал на включення генератора вимірювального струму 4 (нетеплове значення змінного електричного струму) та посилає команди на обнулення АЦП 7, ЦАП 10, ЦАП 12. Після цього ЕВМ 8 заносить код постійного електричного струму I_m у ЦАП 12, що призводить до включення ЦАП 12 (оператор 5). Код струму I_m вибирається з умови, що постійний електричний струм, протікаючи по обмоткам електромагніту постійного електричного струму, створює потужне магнітне поле, яке перешкоджає руху паронаосія від більш нагрітої зони випаровування до менш нагрітої зони конденсації, де розміщується терморезистор. Це призводить до того, що терморезистор набуває значення температури близької до вимірюемого значення температури. Таким чином, переривання тепла через теплопровід призводить до того, немов би теплова труба опиняється у "зачиненому" стані. На першому кроці вимірів (оператор 9) включається АЦП 7 і значення падіння початкової напруги U_1 , що спричинюється вимірювальним струмом від джерела змінного електричного струму 4, проходячи через фільтр верхніх частот 5 та перетворювач змінної напруги у постійну 6, через АЦП 7, перетворившись у цифровий код, заноситься у пам'ять ЕВМ 8 (оператор 23). Далі АЦП 7 по команді ЕВМ 8 виключається та обнулюється (оператор 24). На другому етапі вимірів (оператор 10) ЕВМ 8 передає значення ЦАП 12 коду струму I_m (оператор 11), який менший за своїм числовим значенням від I_m^1 , що спричинює послаблення магнітного поля, внаслідок чого деяка частина паронаосія рухається від зони випаровування до зони конденсації. Такий стан

теплової труби відповідає "трохи відчиненому" стану і терморезистор починає нагріватись за рахунок деякого надходження тепла від зони випаровування. Через деякий проміжок часу Δt (оператор 12) включається АЦП 7 (оператор 13) і значення напруги U_2 , перетворене у цифровий код, заноситься у пам'ять ЕВМ 8 (оператор 23), після чого виключається та обнулюється АЦП 7 (оператор 23). На третьому кроці вимірів (оператор 14) ЕВМ 8 підраховує необхідний постійний електричний струм підігріву і згідно формули, вводить його у ЦАП 10 (оператор 15), таким чином включаючи його (оператор 16). Значення постійного електричного струму підігріву через фільтр нижніх частот 11 поступає на терморезистор та нагріває його. Через визначений часовий інтервал (оператор 17) включається АЦП 7 (оператор 18) і значення коду напруги підігрітого терморезистора U_3 заносить у пам'ять ЕВМ 8 (оператор 23). Після чого виключається та обнулюється АЦП 7 (оператор 24). На четвертому кроці вимірів (оператор 19) ЕВМ передає код струму I_m^1 у ЦАП 12, що призводить до "закриття" теплової труби і охолодженню терморезистора. Через визначену часову затримку (оператор 20) знов включається АЦП 7 (оператор 21) і виключається ЦАП 10 (оператор 22) — внаслідок чого струм підігріву виключається, а значення коду U_4 падіння напруги на охолодженню терморезисторі заноситься у пам'ять ЕВМ 8 (оператор 23), АЦП 7 виключається (оператор 24) та обнулюється. Після чого (оператор 26) йде процес обрахунку невідомої вимірюємої температури Θ_2 по формулі (30). Після обрахунку температури вона виводиться на цифрове табло 9 для реєстрації (оператор 27), а у той же час терморезистор охолоджується до початкової температури. Далі йде запит на поновлення роботи (оператор 28).

Таким чином, завдяки виключенню впливу непостійності параметрів терморезистора на результат вимірювання можливе використання у якості чутливого елементу терморезистора матеріалів з високим температурним коефіцієнтом опору, включаючи напівпровідникові, що дозволяє істотно підвищити дозволяючу можливість терморезистора. При цьому результат вимірювання визначається точністю вимірювання падіння напруги на терморезисторі при ідентифікації та вимірювання невідомої температури. Враховуючи, що температура ідентифікації встановлюється з точністю не більш як $0,05^\circ\text{C}$, то похибка вимірювання терморезистивним термометром у діапазоні $(-10 \dots 200)^\circ\text{K}$ не перевищує як $0,05\text{K}$.

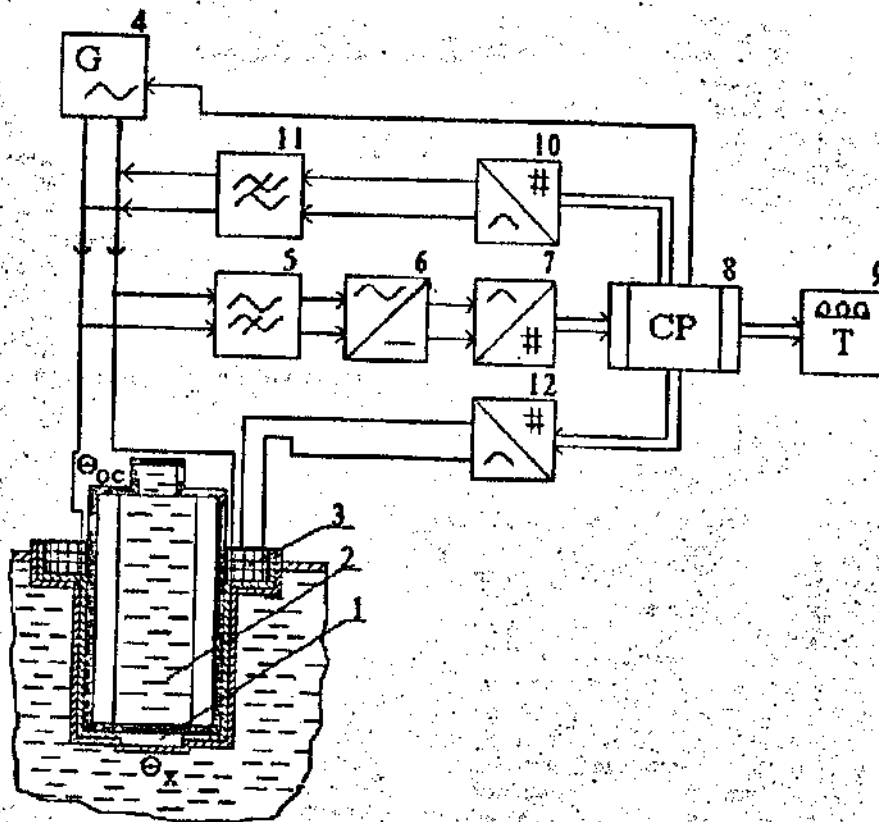


Fig. 1

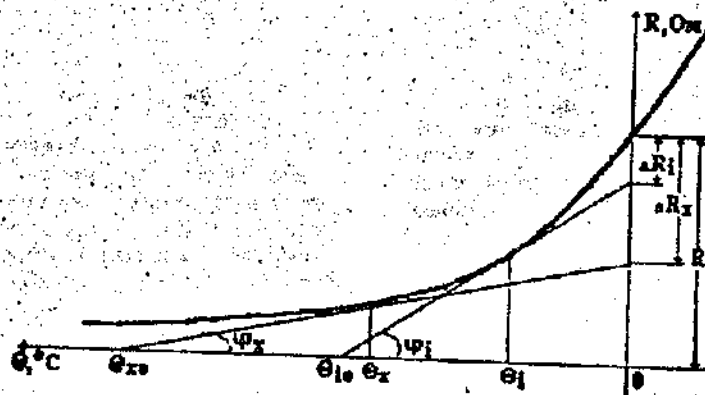


Fig. 2

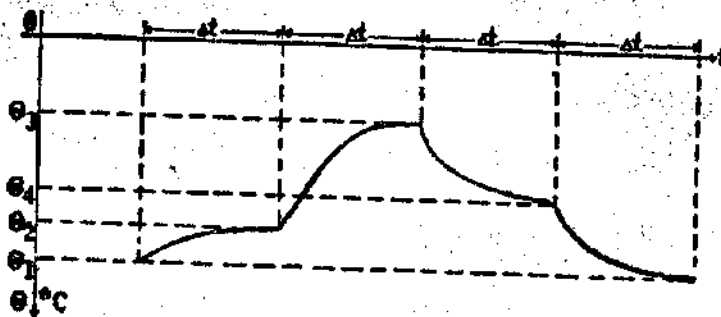
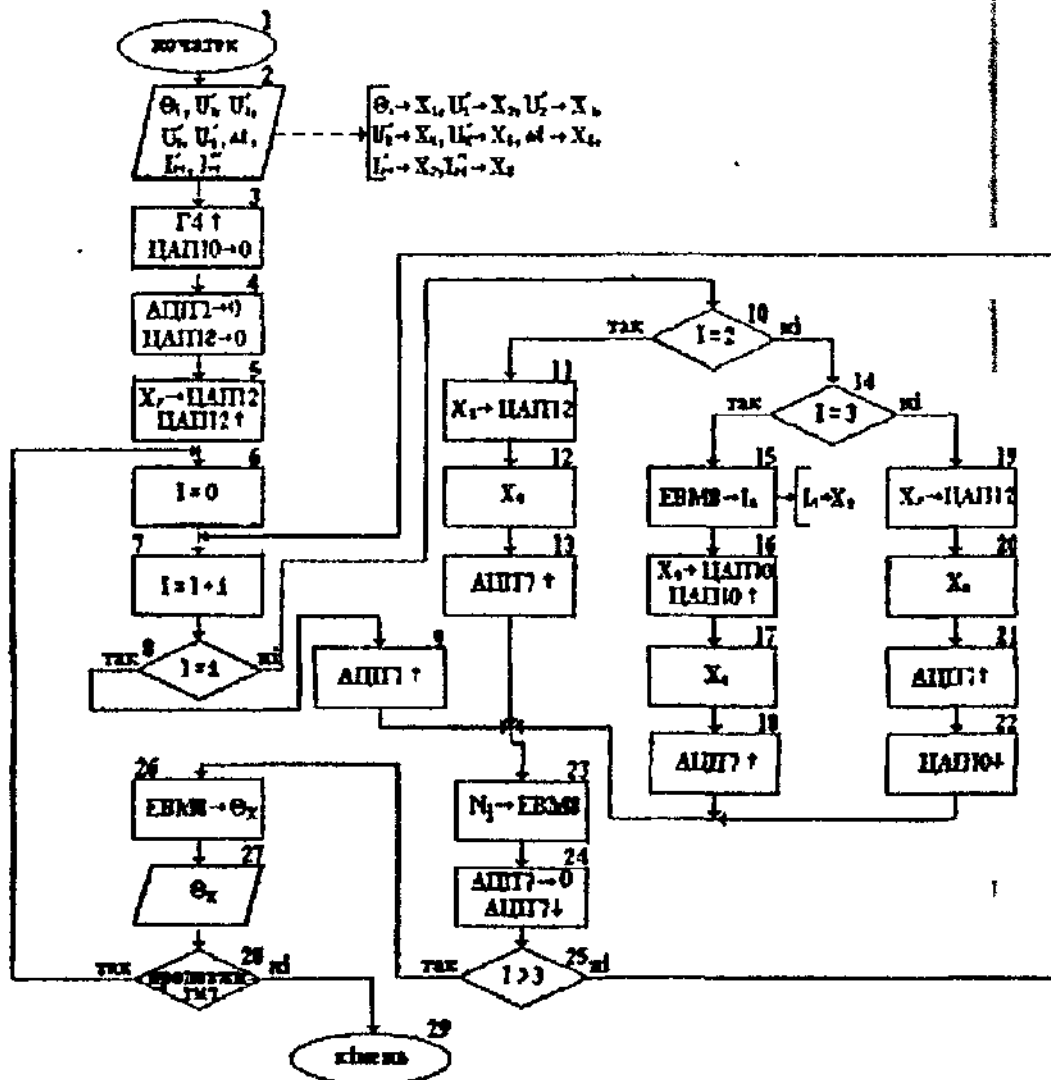


Fig. 3



Фіг. 4

Тираж 50 екз

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

