

Винахід відноситься до термометрії та може бути застосований у інформаційно-вимірювальних системах контролю стану температурних полів з розміщеними в ньому низькоомними терморезистивними сенсорами.

При послідовному збиранні інформації про стан теплового об'єкту, що характеризується нерівномірним температурним полем, широко застосовуються многоточкові інформаційно-вимірювальні системи (IBC).

Відомий спосіб вимірювання температурного поля, реалізований у многоканальному пристрої вимірювання температури (див. А.с. N 1200141 Многоканальное устройство для измерения температуры. – В.Х. Астрахан, В.М. Машенков, Ю.А. Ноткин. Опубликовано 23.12.85 г. 85 г.; Бюл. N 7), де для первинного перетворення температури в електричний сигнал застосовані низькоомні мідні або нікелієві терморезистори. Терморезистори розташовані в кожній досліджуваній точці температурного поля, і дані від них послідовно в часі надходять у вимірювальний канал, де вони перетворюються у відповідні значення напруги, які обробляються і відображаються чи запам'ятовуються. Підключення терморезисторів до вимірювального каналу здійснюється за допомогою релейних комутаторів. Відомий спосіб не забезпечує достатньої швидкості, оскільки використовує релейні комутаційні елементи з метою забезпечення достатньої точності вимірювань.

Відомий також спосіб многоточкового контролю температурного поля (див. наприклад, Куликовский К.Л., Купер В.Я. Методы и средства измерений. – М. Энергоатомиздат, 1986 г., с. 269–270), який полягає в тому, що на обрані рядок та стовбчик матриці подають напругу, що відкриває діодний ключ, через який підключений терморезистивний сенсор цього вузла матриці, вимірюють струм, що протікає через відкритий діодний ключ і терморезистивний сенсор та падіння напруги на них, визначають опір і по його зміні судять про температуру контрольованої точки. Вказаний спосіб має високу швидкість, але не забезпечує достатньої точності із-за впливу опору діодного ключа на результат вимірювань.

Відомий пристрій многоточкового контролю температурних полів, реалізований в інформаційно-вимірювальному комплексі (ІВК)К742 з терморезистивними сенсорами (див. наприклад, Кавалеров Г.И. Измерительно-вычислительные комплексы. – Приборы и системы управления, 1977 г., N 11, с. 23–27), в якому сенсори включені у вимірювальний канал 3-х ступеневим комутатором. При використанні низькоомних резисторів (10, 46, 53 Ом) застосовується комутатор Ф799/1, в якому у вигляді ключів використані реле РЭС-44 з магнітоуправляємими контактами. При кількості термодатчиків більше 300–500 надійність многоточкового ІВК з електромагнітними реле є досить низькою.

Відомий також пристрій для многоточкового контролю температурного поля (див. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы. Структуры и алгоритмы, системно-техническое проектирование. – М.: Энергоатомиздат, 1985, с. 113–115), що містить матричний комутатор з чотирикутними комітками з n і m ізольованих провідників, що утворюють відповідно рядки та стовбчики матриці, у вузлах якої через діодні ключі включені $N = n \cdot m$ терморезистивних сенсорів, n ключів комутаторів управління стовбчиками та m ключів комутаторів управління рядками матриці, аналого-цифровий перетворювач, обчислювально-управляючий блок на основі мікро-ЕОМ.

При комутації низькоомних терморезисторів використовуються $N = n \cdot m$ контактних елементів і ще $M = n + m$ контактних елементів в комутаторах управління стовбчиками та рядками матриці. Так, при застосуванні матриці розміром 100–100 необхідно тільки 10000 механічних контактів в самій матриці, що різко знижує надійність і термін служби многоточкової ІВС. Крім того, велика кількість електромагнітних механізмів неминує знижує швидкість перемикання контрольованих точок температурного поля, потребує великої потужності управління і ускладнює мініатюризацію матричних систем при дослідженні високоградієнтних полів у малих об'ємах, і, в решті решт, контактні електромагнітні елементи є джерелом комутаційних завад.

Безконтактні комутаційні елементи, виконані на напівпровідникових діодах чи тріодах, забезпечують у відкритому стані опір від 2 до 100 Ом, а у закритому – від 10^6 до 10^8 Ом.

Комутаційні елементи на польових тріодах мають опір у відкритому стані від 20 до 2000 Ом, а у закритому – відповідно від 10^8 до 10^{12} Ом. Якщо врахувати, що опір відкритого ключа сильно залежить від температури та індивідуальних параметрів напівпровідникової структури, то при комутації низькоомних терморезисторів (10–100 Ом) виникають великі похибки виміру.

При використанні контактних елементів опір замкненого ключа знижується до 0,005–0,1 Ом, а опір відкритого ключа досягає 10^{10} – 10^{12} Ом. Проте при великій кількості контактних елементів надійність многоточкової ІВС різко знижується із-за обмеженого терміну служби електро-механічних елементів високого рівня комутаційних завад.

В основу винаходу покладена задача створити такі спосіб та пристрій многоточкового контролю температурного поля, в яких введення нових операцій пропускання струму крізь відкритий вузол матриці та нової розрахункової формули в спосіб, а також введення нового вузла в структуру пристрою дозволяє усунути вплив температурозалежного опору діодного ключа на результат виміру, завдяки чому досягається висока точність виміру та забезпечується висока швидкість.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі многоточкового контролю температурного поля, який полягає в тому, що на обрані рядок та стовбчик матриці подають напругу, що відкриває діодний ключ, через який підключений терморезистивний сенсор цього вузла матриці, вимірюють струм, що протікає через відкритий діодний ключ і терморезистивний сенсор та падіння напруги на них, визначають опір і по його зміні судять про температуру контрольованої точки, згідно винаходу через відкритий вузол матриці пропускають струм I_{i1} , рівний половині граничного струму насичення діодного ключа та вимірюють перше падіння напруги U_{i1} на i -му відкритому вузлі, після чого проводять вимірювання середньоквадратичного відхилення ряду вимірювань падіння напруги U_{i1} , збільшують струм через відкритий вузол до тих пір поки друге падіння напруги U_{i2} , на відкритому вузлі матриці не перевищить значення падіння напруги U_{i1} на вели-

чину, рівну 100–200 середньо-квадратичних відхилень ряду вимірювань падіння напруги U_{i1} , після чого визначають коефіцієнт r , як відношення струму, відповідного падінню напруги U_{i2} , та струму I_{i1} , зменшують струм через відкритий вузол матриці до значення, яке отримують діленням струму I_{i1} на коефіцієнт r , вимірюють третє падіння напруги U_{i3} на i -му вузлі, а шукану температуру i -го вузла матриці T_i визначають за формулою

$$T_i = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{r \cdot (U_{i3} + U_{i2} - 2U_{i1})}{R_0 \cdot (r^2 - 2r + 1) I_{i1}} - 1 \right],$$

де R_0 – опір терморезистора при початковій температурі $T_0 = 0$, α – температурний коефіцієнт терморезисторного сенсора.

Поставлена задача вирішується також тим, що у пристрій для многоточкового контролю температурного поля, що містить матричний комутатор з чотирикутними комітками з n і m ізолюваних провідників, що утворюють відповідно рядки та стовбчики матриці, у вузлах якої через діодні ключі включені $N=n \cdot m$ терморезистивних сенсорів, n ключів комутаторів управління стовбчиками та m ключів комутаторів управління рядками матриці, аналого-цифровий перетворювач, обчислювально-управляючий блок на основі мікро-ЕОМ, згідно винаходу введено цифро-аналоговий перетворювач код-струм, кодові входи якого підключені до першого входу-виходу мікро-ЕОМ, аналоговий вихід якого з'єднаний з входом матричного комутатора та аналоговим входом аналого-цифрового перетворювача, кодовими виходами підключеного до другого входу-виходу мікро-ЕОМ, третій і четвертий входи-виходи якої з'єднані з управляючими входами комутаторів стовбчиків і рядків матриці.

Надлишкові виміри трьох падінь напруги на відкритому вузлі при трьох заданих значеннях струму крізь цей вузол дозволяють визначити опір терморезистора незалежно від опору послідовно включеного діодного ключа. Вибір трьох значень струму вузла, зв'язаних постійним коефіцієнтом, який вибирають по порогі чутливості використовуваного вимірювача напруги, забезпечує роботу терморезистора при мінімальних струмах через нього, що мінімізує варіації електричної потужності, розсіюваної терморезистором.

Введення в структуру пристрою цифро-аналогового перетворювача код-струм забезпечує програмну зміну струму відкритого вузла в заданих межах за допомогою мікро-ЕОМ, а введення відповідних значень напруг у мікро-ЕОМ через аналого-цифровий перетворювач дозволяє автоматизувати виміри у кожній точці досліджуваного поля.

На фіг. 1 представлена функціональна схема пристрою многоточкового контролю температурного поля, а на фіг. 2 – алгоритм роботи програмованого пристрою.

Пристрій містить матричний комутатор 1 з чотирикутними комітками із n та m ізолюваних провідників, що утворюють відповідно стовбчики та рядки матриці, у вузлах якої включені послідовно сполучені терморезистивні сенсори 2 і напівпровідникові діодні ключі 3. Стовбчики матричного комутатора 1 через ключі цифроуправляемого комутатора 4 з n контактами по черговому можуть заземлятися, а рядки матричного комутатора 1 через ключі цифроуправляемого комутатора 5 з m контактами з'єднуються з виходами цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) 6, кодові входи якого підключені до першого входу-виходу обчислювально-керуючого блоку 7, виконаного на мікро-ЕОМ. Вхід комутатора 5 з'єднаний з входом аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 8, кодові входи якого підключені до другого входу-виходу блоку 7. Через третій і четвертий входи-виходи блоку 7 здійснюється управління ключами комутатора 4 стовбчиків та ключами комутатора 5 рядків матричного комутатора 1. Через п'ятий, шостий і сьомий входи-виходи блоку 7 здійснюється зв'язок з дисплеєм 9, цифродрукуювальним пристроєм 10 і пультом управління 11 з клавіатурою.

Робота пристрою здійснюється в режимі програмного обміну даними між цифровими та аналого-цифровими блоками.

Спосіб многоточкового контролю температурного поля здійснюється таким чином.

У контрольованих точках температурного поля розміщені послідовно сполучені низькоомні терморезистивні сенсори і напівпровідникові діодні ключі, включені між електродами рядків і стовбчиків матриці.

Опір низькоомних терморезистивних сенсорів (мідних чи нікелієвих) в залежності від температури T_i в i -тій точці поля приймає значення

$$R_i = R_0 (1 + \alpha T_i) \quad (1)$$

де R_0 – опір сенсора при температурі $T_i = 0$ K, α – температурний коефіцієнт опору сенсора.

Почергово подають на обраний рядок та стовбчик матриці напругу з полярністю, що відкриває р-п перехід напівпровідникового діодного ключа.

При цьому сенсори, розміщені у сусідніх вузлах матриці 1, не шунтують включений сенсор із-за впливу на їх послідовно включені діодні ключі напруги закриваючої полярності. При змищенні переходу діодного ключа у прямому напрямку через сенсор тече струм, значення якого визначається падінням напруги на відкритому р-п переході і самому сенсорі. Зв'язок між струмом 1 крізь відкритий р-п перехід і падіння напруги U' на ньому визначається прямою гілкою вольт-амперної характеристики діоду

$$I = I_0 e^{-\frac{B}{T}} \left\{ e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right\} \quad (2)$$

де I_0 – граничний струм зворотнього насичення при температурі $T \rightarrow \infty$; B – коефіцієнт, залежний від ширини забороненої зони р-п переходу, і має розмірність температури, q – заряд електрона; k – постійна Больцмана.

Зважаючи на те, що при температурі $T = 300$ К температурний потенціал переходу $kT/q = 25$ мВ, а падіння напруги на відкритому діоді $U' > (10-1,5 \text{ В})$, можна вважати, що

$$\left\{ e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right\} \gg 1$$

Тоді рівняння (2) можна представити у більш простому вигляді

$$I = I_0 e^{-\frac{B}{T}} e^{\frac{qU}{kT}} \quad (3)$$

Із рівняння (3) випливає, що падіння напруги на відкритому р-п переході буде мати вигляд

$$U_i = \frac{kB}{q} + \frac{kT_i}{q} \ln \frac{I_i}{I_0} \quad (4)$$

Для виключення додаткового нагріву сенсора струмом вибирають $I_i < I_0$. Тоді для додатного значення логарифма відношення струмів маємо

$$U_i = \frac{kB}{q} - \frac{kT_i}{q} \ln \frac{I_0}{I_i} \quad (5)$$

Із виразу (5) видно, що падіння напруги на відкритому р-п переході із збільшенням температури зменшується, а падіння напруги на сенсорі згідно (1) зростає. Тому сумарне падіння напруги на послідовно з'єднаних діодах і сенсорі має вид:

$$U_i = \frac{kB}{q} - \frac{kT_i}{q} \ln \frac{I_0}{I_i} + R_0(1+\alpha T_i)I_i \quad (6)$$

Врахувати при контролі температурного поля опір відкритого діодного ключа важко, бо його опір є нестабільним і сильно залежить від температури.

Для виключення впливу опору відкритого діодного ключа на значення опору сенсора спершу крізь обраний вузол матриці пропускають заданий струм $I_{i1} \leq 0,5 I_0$ і вимірюють падіння напруги U_{i1} на i -тому вузлі матриці

$$U_{i1} = \frac{kB}{q} - \frac{kT_i}{q} \ln \frac{I_0}{I_{i1}} + R_0(1+\alpha T_i)I_{i1} \quad (7)$$

Потім визначають середньоквадратичне відхилення ряду вимірювань падіння напруги

$\delta U_{i1} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{n=10} (U_{i1n} - U_{i1})^2}{n-1}}$, після чого збільшують струм через відкритий вузол до тих пір поки друге падіння напруги U_{i2} на відкритому вузлі матриці не перевищить значення падіння напруги U_{i1} на величину, рівну $(100-200) \delta U_{i1}$, після чого визначають коефіцієнт γ як відношення струму I_{i2} , відповідного падінню напруги U_{i2} і струму I_{i1} ,

$$\gamma = I_{i2}/I_{i1} \quad (8)$$

При цьому друге падіння напруги U_{i2}

$$U_{i2} = \frac{kB}{q} - \frac{kT_i}{q} \ln \frac{I_0}{I_{i2}} + R_0(1+\alpha T_i)I_{i2} \quad (9)$$

Після вимірювання U_{i2} зменшують струм через вузол матриці до значення I_{i3} , яке задають діленням струму I_{i1} на той же коефіцієнт r

$$I_{i3} = \frac{I_{i1}}{r} \quad (10)$$

Вимірюють третє падіння напруги U_{i3} на відкритому вузлі матриці, отримуючи

$$U_{i3} = \frac{kB}{q} - \frac{kT_i}{q} \ln \frac{I_{i0}}{I_{i3} + R_o(1 + \alpha T_i) I_{i3}} \quad (11)$$

Після вказаних вимірювань обчислюють різницю падіння напруги на відкритому вузлі від струмів I_{i2} та I_{i1} .

$$\Delta U_{i1} = U_{i2} - U_{i1} = R_o(1 + \alpha T_i) (I_{i2} - I_{i1}) - \frac{kT_i}{q} \ln \frac{I_{i1}}{I_{i2}} \quad (12)$$

і різницю падіння напруги від струмів I_{i1} та I_{i3}

$$\Delta U_{i2} = U_{i1} - U_{i3} = R_o(1 + \alpha T_i) (I_{i1} - I_{i3}) - \frac{kT_i}{q} \ln \frac{I_{i3}}{I_{i1}} \quad (13)$$

Далі визначають різницю обчислених різниць падіння напруги (13) і (12)

$$\Delta U_{i3} = \Delta U_{i1} - \Delta U_{i2} = R_o(1 + \alpha T_i) (I_{i2} + I_{i3} - 2I_{i1}) -$$

$$- \frac{kT_i}{q} \ln \frac{I_{i2} I_{i3}}{I_{i1}^2} \quad (14)$$

З врахуванням встановлених значень струмів I_{i2} та I_{i3} згідно із співвідношеннями (8) та (10) маємо:

$$\ln \frac{I_{i2} I_{i3}}{I_{i1}^2} = \ln 1 = 0 \quad (15)$$

Тоді різниця (14) приймає вид:

$$\Delta U_{i3} = \Delta U_{i1} - \Delta U_{i2} = R_o(1 + \alpha T_i) (I_{i2} + I_{i3} - 2I_{i1}) \quad (16)$$

Зважаючи, що різниця (14) із врахуванням співвідношень (12) і (13) має вигляд

$$\Delta U_{i3} = U_{i2} + U_{i3} - 2U_{i1} \quad (17)$$

отримаємо

$$R_o(1 + \alpha T_i) = \frac{U_{i3} + U_{i2} - 2U_{i1}}{I_{i2} + I_{i3} - 2I_{i1}} \quad (18)$$

Записавши струми I_{i2} та I_{i3} через струм I_{i1} і коефіцієнт r , остаточно отримаємо

$$R_o(1 + \alpha T_i) = \frac{r \cdot U_{i3} + U_{i2} - 2U_{i1}}{(r^2 - 2r + 1) I_{i1}} \quad (19)$$

Температуру i -го вузла матриці визначають із співвідношення (19) за формулою

$$T_i = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{r \cdot (U_{i3} + U_{i2} - 2U_{i1})}{R_o \cdot (r^2 - 2r + 1) I_{i1}} - 1 \right], \quad (20)$$

Таким чином, температура відкритого i -го вузла матриці визначається за трьома значеннями падіння напруги на цьому вузлі (U_{i1} , U_{i2} , U_{i3}) при заданому співвідношенні струмів відносно заданого струму I_{i1} . При цьому виключається вплив нестабільного і температурозалежного опору діючого ключа, включеного послідовно з низькоомним терморезистивним сенсором.

Встановлення початкового струму вузла на рівні половинного значення граничного струму насичення діоду дозволяє в цілому мінімізувати розсіювану потужність на терморезисторі і тим самим підвищити надійність і точність терморезистивного сенсора.

Пристрій по фіг. 1 працює з врахуванням алгоритму фіг. 2.

По програмі, введений в пам'ять мікро-ЕОМ 7, ключами комутаторів 4 і 5 здійснюється почергове підключення вузлів матриці 1 до ЦАП 6, виконаного за схемою "код-струм". Задане значення струму I_{i1} , що вводиться в пам'ять ЕОМ з пульта 11, проходить через відкритий вузол матриці 1, створюючи падіння напруги U_{i1} на відкритому, наприклад, діоді 2 терморезистивного сенсора 3. Сумарне падіння напруги вузла U_{i1} перетворюється за допомогою АЦП 8, виконаного за схемою "напруга-код", у цифровий код, який вводиться і запам'ятовується в оперативній пам'яті мікро-ЕОМ 7. Після цього проводять визначення середньоквадратичного відхилення результатів ряду вимірювань падіння напруги U_{i1} , для чого десятикратно вимірюють падіння напруги U_{i1} при одному і тому ж коді на вході ЦАП 6. Визначення величини середньоквадратичного відхилення результатів ряду вимірювань падіння напруги U_{i1} проводиться процесором мікро-ЕОМ 7 по стандартному алгоритму. Далі по черговій команді мікро-ЕОМ 7 код ЦАП 6 збільшується, що призводить до збільшення струму I_{i2} відкритого вузла і до відповідного збільшення падіння напруги U_{i2} . Збільшення коду ЦАП 6 відбувається до тих пір, поки код падіння напруги U_{i2} не перевищить код падіння напруги U_{i1} на величину $(100-200) \delta U_{i1}$. Код падіння напруги U_{i2} з виходу АЦП 8 заноситься в пам'ять мікро-ЕОМ 7, після чого за наступною командою код ЦАП 6 приймає попереднє значення I_{i1} , яке потім ділиться на коефіцієнт γ . В результаті цього зменшується струм відкритого вузла до значення I_{i3} . Падіння напруги на вузлі U_{i3} перетворюється за допомогою АЦП 8 в код, який також запам'ятовується в оперативній пам'яті мікро-ЕОМ 13.

По значенням кодів падіння напруги на відкритому вузлі U_{i1} , U_{i2} , U_{i3} , заданому значенню струму I_{i1} і коефіцієнту γ за формулою (20) в процесорі мікро-ЕОМ 7 обчислюється температура вузла T_i , яка відображається на дисплеї 9 і реєструється в пристрої 10. Значення температурного коефіцієнта α застосованих термо-резистивних сенсорів та їх початкові опори R_0 вводяться в пам'ять мікро-ЕОМ 7 за допомогою клавіатури 11.

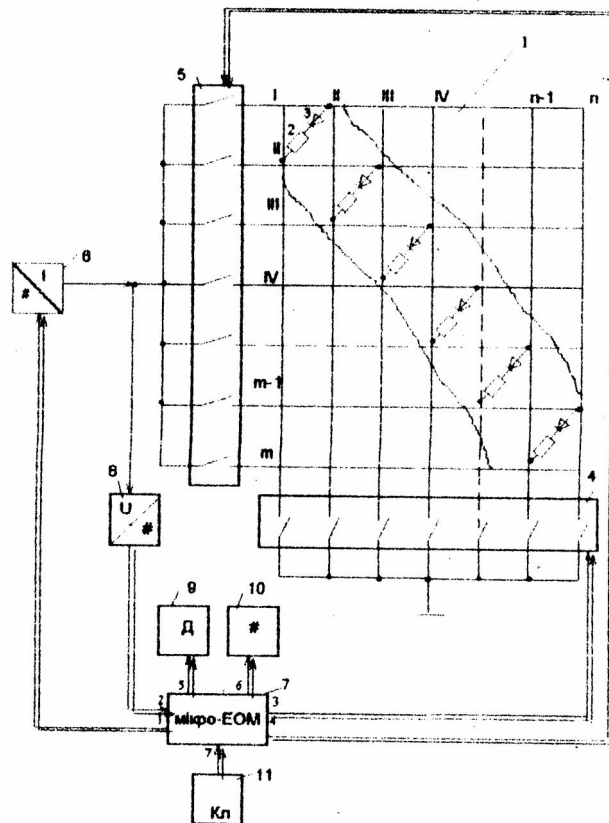
За розрахункове значення коефіцієнта γ доцільно прийняти $\gamma = 2$. Тоді множник перед сумою напруг у формулі (20) дорівнює

$$\frac{\gamma}{\gamma^2 - 2\gamma + 1} = \frac{2}{4 - 2 \cdot 2 + 1} = 2$$

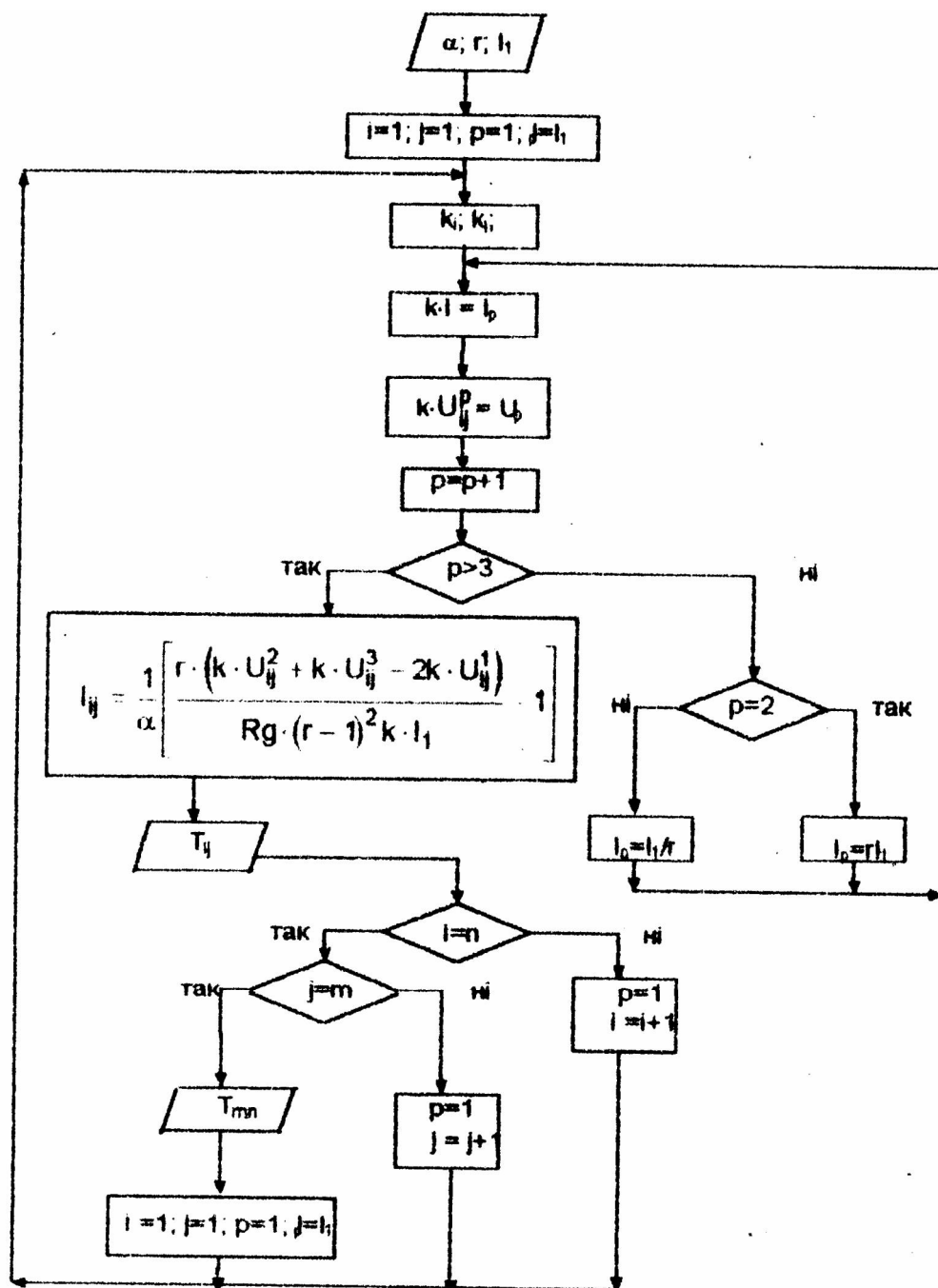
Розрахункова формула (20) для обраного значення коефіцієнта γ має вигляд

$$T_i = \frac{2}{\alpha} \left[\frac{\gamma \cdot (U_{i3} + U_{i2} - 2U_{i1})}{R_0 \cdot I_{i1}} - 1 \right]$$

Використання в матриці замість електромагнітних реле комутаційних діодів, наприклад типу КД409А, дозволяє значно підвищити бистродію многоточкової ІВС температури. Так, приблизно у 100 разів підвищується бистродія і збільшується термін служби ІВС до 2–3 років при використанні матриці з $N = 100 \times 40 = 4000$ терморезисторами і 140 магнітоуправляємими ключами в комутаторах стовбчиків та рядків матриці.



Фиг. 1



Фиг. 2

Тираж 50 екз.

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