



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 56014

(13) A

(51) 7 G01K7/30

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВІНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ  
ВЛАСНИКА  
ПАТЕНТУ

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ РОЗПЛАВІВ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ В ЕКСТРУДЕРІ

1

2

(21) 2002086840

(22) 19 08 2002

(24) 15 04 2003

(46) 15 04 2003, Бюл. № 4, 2003 р.

(72) Скрипник Юрій Олександрович, Лісовський  
Олександр Анатолійович(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) 1 Пристрій для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері, що містить шумовий резистивний перетворювач і вимірювальну схему, яка включає два смугових фільтри, два широкосмугових підсилювачі змінної напруги, помножувач та фільтр нижніх частот, при цьому входи помножувача з'єднані з виходами широкосмугових підсилювачів змінної напруги, входи яких з'єднані з виходами смугових фільтрів, фільтр нижніх частот, підключений до виходу помножувача, і цифровий вольтметр, який відрізняється тим, що в нього введені два розподільних конденсатори, блок змінного опору, розміщений в термостаті, диференціальний підсилювач, який виконаний на базі двох операційних підсилювачів, автоматичний перемикач, генератор низької частоти, послідовно з'єднані підсилювач низької частоти, синхронний детектор і другий фільтр нижніх частот, при цьому один вихід шумового резистивного перетворювача через перший рознім і з'єднувальний кабель та один вихід блока змінного опору з'єднані через

перший розподільний конденсатор з одним входом диференційного підсилювача, другий вхід якого з'єднаний через другий розподільний конденсатор з виходом автоматичного перемикача, один вхід якого з'єднаний через другий рознім і з'єднувальний кабель з другим виходом шумового резистивного перетворювача, другий вихід автоматичного перемикача з'єднаний з другим виходом блока змінного опору, виходи диференційного підсилювача з'єднані з входами смугових фільтрів, вихід першого фільтра нижніх частот з'єднаний з входом підсилювача низької частоти, вихід якого з'єднаний з входом синхронного детектора, до виходу якого підключений другий фільтр нижніх частот та цифровий вольтметр, а керуючі входи автоматичного перемикача та синхронного детектора з'єднані з виходом генератора низької частоти

2 Пристрій за п 1, який відрізняється тим, що шумовий резистивний перетворювач складається з двох циліндричних електродів з закругленими головками, які виготовлені з кольорових металів з високою електропровідністю та розміщені в термостійких керамічних або фторопластових втулках, розміщених в корпусі екструдера, при цьому електроди підпружинені і встановлені з можливістю зміни відстані між ними, яка визначається в залежності від технологічних розмірів екструдера

Винахід відноситься до області термометрії і може бути використаний для визначення температури розплавів полімерних матеріалів в екструдерах за інтенсивністю власних теплових шумів полімерної маси

Для отримання готових полімерних матеріалів, а також для наповнення, змішування та гомогенізації компонентів, фарбування, дегазації розплавів, грануляції та інших процесів використовують екструдери, які розрізняються продуктивністю, числом і конструкцією черв'яків, способом обігріву, конструкцією формуючого інструмента. Найбільш ефективні двочерв'ячні екструдери з одночасним проведенням

змішування, гомогенізації, пластикації, дегазації та грануляції. Технологічна частина екструдерів складається із збірного корпусу, в якому обертаються черв'яки, двох збірних черв'яків, змішувальних дисків, розвантажувальних пристроїв, пристосування для зміни фільтрів. Кожна секція корпусу має свердлення для встановлення датчиків температури, наприклад, термопар, та датчиків тиску

Теплові режими головних технологічних процесів приготування полімерних матеріалів здебільшого визначають якість полімерних матеріалів. Проблемою є достовірне визначення температури полімерного матеріалу в кожній секції

(13) A

(11) 56014

(19) UA

екструдера, та дотримання необхідного температурного режиму

В зв'язку з тим, що термопари захищені кожухами від рухомої маси полімеру, то вноситься додаткове запізнення по температурі, що збільшує динамічну похибку виміру температури розплаву полімеру. Крім того, виникає додаткова статична похибка в зв'язку з різницею температур захисного кожуха та чутливого елементу датчика.

Не використовувати захисний кожух можливо лише в тому випадку, коли контроль температури розплаву полімеру здійснюється за його власними тепловими шумами, які пропорційні температурі розплаву полімеру.

Трудність використання шумів для вимірювання температури розплавів полімерів полягає у низькому рівні теплового шумового сигналу, який складає одиниці або десятки мікровольт. Проблема є вимірювання малої шумової напруги, яка може бути спів розмірним власним шумам вимірюваної апаратури, а іноді вона менш потужна. Це технічне рішення також ускладнюється тим, що корисний сигнал напруга теплового шуму (несе інформацію про температуру об'єкта) так і перешкода - власний шум апаратури, є нерозрізнені по спектральному складу. Тому малоефективними виявляються відомі методи та пристрої вимірювання слабких шумових сигналів на фоні більш інтенсивних особистих шумів вимірювальної схеми.

Відомий пристрій для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері (див Brixly H.G. Temperature Measurement in Nuclear Reactors by Noise Thermometry // Nucl. Instrum. Meth. - 1971, - Vol.37, -N1), який містить вимірювальний шумовий резистивний перетворювач, опорний шумовий резистивний перетворювач, два синхронізованих перемикача, два малошумних підсилювача, два смугових фільтри, два широкосмугових підсилювача, перемножувач, диференціальний операційний підсилювач з двома конденсаторами пам'яті, інтегратор, пристрій реєстрації та мікропроцесор, при цьому входи синхронізованих перемикачів з'єднані з виходами вимірювального шумового резистивного перетворювача та опорного шумового резистивного перетворювача, а виходи синхронізованих перемикачів з'єднані з входами двох малошумних підсилювачів, виходи яких з'єднані з входами двох смугових фільтрів, виходи яких з'єднані з входами двох широкосмугових підсилювачів, виходи яких з'єднані з входами перемножувача, до виходу якого підключені послідовно з'єднані диференціальний операційний підсилювач з двома конденсаторами пам'яті, інтегратор, мікропроцесор та пристрій реєстрації.

Дрейф нуля перемножувача, неідентичність параметрів двох підсилювачів та наявність двох конденсаторів пам'яті вносять додаткові похибки на результат вимірювання температури, що викликана часовою зміною їх параметрів.

Відомий пристрій для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері (див, Саватеев А.В. Шумовая термометрия, - Л, Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1987, - с 74-76), який містить шумовий резистивний

перетворювач, два малошумних підсилювача, перемножувач, інтегратор, вимірювач постійного струму, генератор шуму, фазорозщеплювач, при цьому входи малошумних підсилювачів з'єднані з шумовим резистивним перетворювачем, виходи малошумних підсилювачів з'єднані з входом перемножувача, з виходом якого послідовно з'єднані інтегратор, вимірювач постійного струму, генератор шуму, фазорозщеплювач, виходи якого з'єднані з другими входами малошумних підсилювачів.

Відсутність гальванічної розв'язки між входами малошумних підсилювачів призводять до проникнення власних шумів кожного з підсилювачів в суміжний канал, що вносить додаткову похибку вимірювання температури.

Відомий також пристрій для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері (див Стадник Б.І., Микитин І.П. Термшумовий термометр, - Вісник Державного університету "Львівська політехніка" Автоматика, вимірювання та керування, - 1997, - №314, - с 85-89), що містить шумовий резистивний перетворювач і вимірювальну схему, яка включає два смугових фільтри, два широкосмугових підсилювача змінної напруги, перемножувач та фільтр нижніх частот, при цьому входи перемножувача з'єднані з виходами широкосмугових підсилювачів змінної напруги, входи яких з'єднані з виходами смугових фільтрів, фільтр нижніх частот підключений до виходу перемножувача і цифровий вольтметр.

Крім того, відомий пристрій для контролю температури розплавів полімерних матеріалів містить два малошумних вхідних підсилювача, інтегруючий аналого-цифровий перетворювач, блок інтерфейсу і комп'ютер. При цьому потенціальний вихід шумового резистивного перетворювача другий вихід якого заземлений, з'єднаний з входами двох малошумних підсилювачів, виходи яких через смугові фільтри та широкосмугові підсилювачі змінної напруги з'єднані з входами перемножувача, а вихід перемножувача з'єднаний з входом фільтра нижніх частот, вихід якого з'єднаний з цифровим вольтметром і аналого-цифровим перетворювачем та блоком паралельного інтерфейсу зв'язку з комп'ютером.

Відсутність електричної розв'язки на входах малошумних підсилювачів (вихід шумового резистивного перетворювача безпосередньо підключений до входу двох малошумних підсилювачів) призводить до проникнення шумів кожного з підсилювачів в суміжний вимірювальний канал, що призводить до їх кореляції та виникнення додаткової похибки, яку важко компенсувати, а це знижує точність вимірювання температури об'єкта. Для виключення впливу нестабільності значення опору первинного шумового резистивного перетворювача, що викликає додаткову похибку, потрібні додаткові вимірювання температури. Непрямі виміри, що базуються на роздільному вимірюванні напруги теплових шумів та електричного опору, з відключенням первинного перетворювача, призводять до збільшення часу вимірювання.

температури розплаву полімеру

В основу винаходу покладена задача створення такого пристрою для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері, у якому введення нових елементів та зв'язків забезпечило би підвищення точності та швидкодії контролю температури розплавів полімерних матеріалів

Поставлена задача розв'язується тим, що в пристрій для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері, який містить шумовий резистивний перетворювач і вимірювальну схему, яка включає два смугових фільтра, два широкосмугових підсилювача змінної напруги, перемножувач та фільтр нижніх частот, при цьому входи перемножувача з'єднані з виходами широкосмугових підсилювачів змінної напруги, входи яких з'єднані з виходами смугових фільтрів, фільтр нижніх частот підключений до виходу перемножувача і цифровий вольтметр, згідно з винаходом, введеш два розподільвальних конденсатора, блок змінного опору, розміщений в термостаті, диференційний підсилювач, який виконаний на базі двох операційних підсилювачів, автоматичний перемикач, генератор низької частоти, послідовно з'єднаний підсилювач низької частоти, синхронний детектор і другий фільтр наших частот, при цьому один вихід шумового резистивного перетворювача через перший роз'єм і з'єднувальний кабель та один вихід блоку змінного опору з'єднані через перший розподільвальний конденсатор з одним входом диференційного підсилювача, другий вхід якого з'єднаний через другий розподільвальний конденсатор з виходом автоматичного перемикача, один вхід якого з'єднаний через другий роз'єм і з'єднувальний кабель з другим виходом шумового резистивного перетворювача, другий вихід автоматичного перемикача з'єднаний з другим виходом блоку змінного опору, виходи диференційного підсилювача з'єднані з входами смугових фільтрів, вихід першого фільтра нижніх частот з'єднаний з входом підсилювача низької частоти, вихід якого з'єднаний з входом синхронного детектора, до виходу якого підключений другий фільтр нижніх частот та цифровий вольтметр, а керуючі входи автоматичного перемикача та синхронного детектора з'єднані з виходом генератора низької частоти

При цьому шумовий резистивний перетворювач містить два циліндричних електрода з закругленими головками, які виготовлені з кольорових металів з високою електропровідністю та розміщені в термостійких керамічних або фторопластових втулках, розміщених в корпусі екструдера, при цьому електроди підпружинені і встановлені з можливістю зміни відстані між ними, яка визначається в залежності від технологічних розмірів екструдера

Саме введення в схему пристрою для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері двох розподільвальних конденсаторів, блоку змінного опору диференційного підсилювача, який виконаний на

базі двох операційних підсилювачів, автоматичного перемикача, генератора низької частоти, послідовно з'єднаний підсилювача низької частоти, синхронного детектора, другого фільтра нижніх частот, що включені зазначеним чином, дозволило підвищити точність контролю температури розплавів полімерних матеріалів. Тому що, зменшене вплив власних шумів апаратури, які вносять додаткову похибку на результат контролю температури

А введення в схему нової конструкції первинного перетворювача дозволяє також підвищити швидкість контролю температури розплавів полімерних матеріалів та запобігти зносу первинного перетворювача. Тому що, в якості чутливого елемента використовується сам полімерний розплав

На малюнку наведена схема пристрою для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері

Пристрій для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері містить шумовий резистивний перетворювач 1, до складу якого входять циліндричні електроди 2 та 3 з закругленими головками, які виготовлені з кольорових металів з високою електропровідністю та розміщують в термостійких керамічних або фторопластових втулках 4 та 5, розміщених в корпусі екструдера 6 з черв'яком 7, циліндричні електрода 2 та 3 підключені до вимірювальної схеми за допомогою з'єднувальних кабелів 8 та 9 і розумів 10 та 11. Один вихід шумового резистивного перетворювача 1 підключений до першого входу автоматичного перемикача 12, до другого входу якого підключений перший вихід блоку змінного опору 13, який розміщений в термостаті 14. Другий вихід шумового резистивного перетворювача 1 та другий вихід блоку змінного опору 13 з'єднані з першим розподільвальним конденсатором 15. Вихід автоматичного перемикача 12 з'єднаний з другим розподільвальним конденсатором 16. Розподільвальний конденсатор 15 підключений до першого входу диференційного підсилювача 17, тобто до входу операційного підсилювача 18. Другий розподільвальний конденсатор 16 підключений до входу операційного підсилювача 19, який теж входить до складу диференційного підсилювача 17, виходи якого з'єднані з входами смугових фільтрів 20 та 21, виходи яких з'єднані з входами широкосмугових підсилювачів 22 та 23, виходи яких з'єднані з входами перемножувача 24, вихід якого з'єднаний з послідовно з'єднаними фільтром нижніх частот 25, підсилювачем низької частоти 26, синхронним детектором 11, другим фільтром нижніх частот 28, цифровим вольтметром 29 а керуючі входи автоматичного перемикача 1 2 та синхронного детектора 27 з'єднані з виходом генератора низької частоти 30

Шумовий резистивний перетворювач, що складається з двох циліндричних електродів 2 та 31 закругленими головками, які виготовлені з кольорових металів з високою електропровідністю та розміщені в термостійких керамічних або фторопластових втулках 4 та 5 екранують електроди від металевого корпусу екструдера 6,

при цьому електрода 2 та 3 підпружинені, що дозволяє конструктивно виключити можливість зрізу контактів черв'яком 7, що обертається. Відстань між електродами 2 та 3 визначається з розміру кроку черв'яка 7 та обирається як 1/3 від розміру його кроку.

Пристрій для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері працює наступним чином.

Електроди занурюються в розплав полімеру. Опір між електродами 2 та 3 в маках активної зони визначається електричними властивостями полімеру і дорівнює  $R_x$ . Квадрат шумової напруги, яка знімається з роз'ємів 10 та 11, згідно рівняння Найквіста має вигляд

$$\bar{U}_x^2 = 4k\Delta f T_x R_x \quad (1)$$

де  $k=1.38 \times 10^{-23}$  Дж/К - стала Больцмана,  $R_x$  - значення опору ділянки полімерного матеріалу між контактами первинного перетворювача,  $\Delta f$  - смуга частот, в якій відбувається виділення шумових шумів,  $T_x$  - абсолютна температура первинного перетворювача за шкалою Кельвіна.

Ця напруга за допомогою з'єднувальних кабелів 8 та 9 і роз'єми 10 та 11, автоматичний перемикач 12 (при положенні як вказано на малюнку) і розподільчальні конденсатори 15 та 16 поступає на входи диференційного підсилювача 17, до складу якого входять операційні підсилювачі 18 та 19. Шумова напруга диференціальним підсилювачем 17 першого підсилюється та розпінюється на дві протифазні напруги. На виході операційного підсилювача 18 вихідна напруга знаходиться в фазі з вхідною напругою, а на виході підсилювача 19-у протифазі з вхідною.

Блок змінного опору 13 використовують для встановлення опору  $R_0$ , що відповідає опору розплаву полімеру при заданій температурі, тобто, з блоку змінного опору 13 знімаємо шумову напругу  $U_0$ , квадрат якої також визначається рівнянням (1), але з температурою  $T_0$  - яка задається термостатом 14. Це дозволяє формувати опорну шумову напругу, інтенсивність якого відповідає температурі  $T_0$ , заданій за технологічним регламентом.

За безперервної роботи автоматичного перемикача 12, який керується напругою генератора низької частоти 30, на один вхід диференційного підсилювача 17 по чергово поступають напруги  $U_x$  та  $U_0$ , а другий вхід підсилювача являється опорним. Якщо напруги  $U_x$  та  $U_0$  представити в комплексному вигляді, то на виходах диференційного підсилювача 17 для двох положень автоматичного перемикача 12 отримуємо,

$$\dot{U}'_{18} = K_{18}(\dot{U}_x + \dot{U}_{ш18}), \dot{U}'_{19} = -K_{19}(\dot{U}_x + \dot{U}_{ш19}), \quad (2)$$

$$\ddot{U}''_{18} = K_{18}(\ddot{U}_0 + \ddot{U}_{ш18}), \ddot{U}''_{19} = -K_{19}(\ddot{U}_0 + \ddot{U}_{ш19}), \quad (3)$$

де  $K_{18}$ ,  $K_{19}$  - коефіцієнти передачі операційних підсилювачів 18 та 19,  $\dot{U}_{ш18}$  та  $\dot{U}_{ш19}$  - власні шуми операційних підсилювачів 18 і 19.

Напруги (2) та (3) відокремлюються смуговими

фільтрами 20 та 21 від низькочастотних шумів нетеплового характеру і підсилюються широкосмуговими підсилювачами 22 та 23, які мають власні шуми  $\dot{U}_{ш22}$  та  $\dot{U}_{ш23}$ , що не корельовано між собою.

Враховуючи, що підсилювачі 18 та 19 однакові, прийmemo рівність їх коефіцієнтів підсилення  $K_{18}=K_{19}=K_{17}$  і отримуємо

$$U_{22} = K_{17}K_{20}K_{22}(U_x + U_{ш18}) + K_{22}U_{ш22} \quad U_{23} = -K_{17}K_{21}K_{23}(U_x + U_{ш19}) + K_{23}U_{ш23} \quad (4)$$

$$U_{22} = K_{17}K_{20}K_{22}(U_0 + U_{ш18}) + K_{22}U_{ш22} \quad U_{23} = -K_{17}K_{21}K_{23}(U_0 + U_{ш19}) + K_{23}U_{ш23} \quad (5)$$

де,  $K_{20}$ ,  $K_{21}$ ,  $K_{22}$  та  $K_{23}$  - коефіцієнти передачі фільтрів та підсилювачів відповідно.

Напруги (4) та (5) по чергово поступають на входи перемножувача 24.

Враховуючи, що шуми підсилювачів 18, 19, 22 і 23 між собою не корельовано, а коефіцієнти кореляції між шумовими сигналами  $K_{17}\dot{U}_x$  та  $-K_{17}\dot{U}_x$  наближується до одиниці, а також некорельованість шумів підсилювачів з інформативним сигналом на виході фільтра 25 нижніх частот в залежності від положення автоматичного перемикача 12 формуються постійні напруги

$$U_{26} = S_{24}K_{25}[U_{22}U_{23}] = S_{24}K_{25}[K_{17}^2K_{20}K_{22}(U_x + U_{ш18}) + K_{22}U_{ш22}][(-K_{17}K_{21}K_{23}(U_x + U_{ш19}) + K_{23}U_{ш23})] \quad (6)$$

$$U_{26} = S_{24}K_{25}[U_{22}U_{23}] = S_{24}K_{25}[K_{17}^2K_{20}K_{22}(U_0 + U_{ш18}) + K_{22}U_{ш22}][(-K_{17}K_{21}K_{23}(U_0 + U_{ш19}) + K_{23}U_{ш23})] \quad (7)$$

де  $S_{24}$  та  $K_{25}$  - крутизна перетворення перемножувача 24 і коефіцієнт

передачі фільтра 25 нижніх частот відповідно.

Після математичних перетворень та нехтуючи членами другого порядку малості отримуємо такі вирази для цих постійних напруг

$$U_{26} = -K_{17}^2K_{20}K_{21}K_{22}K_{23}S_{24}K_{25}U_x^2 \quad (8)$$

$$U_{26} = -K_{17}^2K_{20}K_{21}K_{22}K_{23}S_{24}K_{25}U_0^2 \quad (9)$$

Напруги (8) та (9) будемо розглядати як одну напругу, амплітуда якої змінюється від  $U_{25}$  до  $U_{25}$  з частотою, що дорівнює частоті  $\Omega$  генератора низької частоти 30. Напруга огибаючої  $U_{25}(\Omega)$  частоти  $\Omega$  підсилюється підсилювачем змінної напруги 26, на виході якого отримуємо

$$U_{26} = K_{26} \left( \frac{U_{25} - U_{25}}{2} \right) \text{sign} \sin \Omega t \quad (10)$$

де  $K_{26}$  - коефіцієнт підсилення підсилювача 26.

Змінна напруга (8) випрямляється синхронним детектором 27, згладжується фільтром нижніх частот 28 і вимірюється цифровим вольтметром 29. На виході фільтра нижніх частот 28 маємо напругу

$$U_{28} = \frac{1}{2} K_{17}^2 K_{20} K_{21} K_{22} K_{23} K_{24} K_{25} K_{26} S_{27} K_{28} [U_x^2 - U_0^2] = \alpha [U_x^2 - U_0^2] \quad (11)$$

де  $\alpha = \frac{1}{2} K_{17}^2 K_{20} K_{21} K_{22} K_{23} K_{24} K_{25} K_{26} S_{27} K_{28}$  - результуючий коефіцієнт перетворення вимірювальної схеми.

Підставляючи в рівняння (11) значення  $U_x^2$  та  $U_0^2$  згідно формули (1) отримуємо

$$U_{28} = 4\alpha k \Delta f [T_x R_x - T_0 R_0] \quad (12)$$

При значенні  $R_x = R_0 = R$ , тобто, значення

встановленого опору блока змінного опору 11 відповідає значенню опору полімеру, отримуємо:

$$U_{29} = 4\alpha k \Delta f R [T_x - T_0] \quad (13)$$

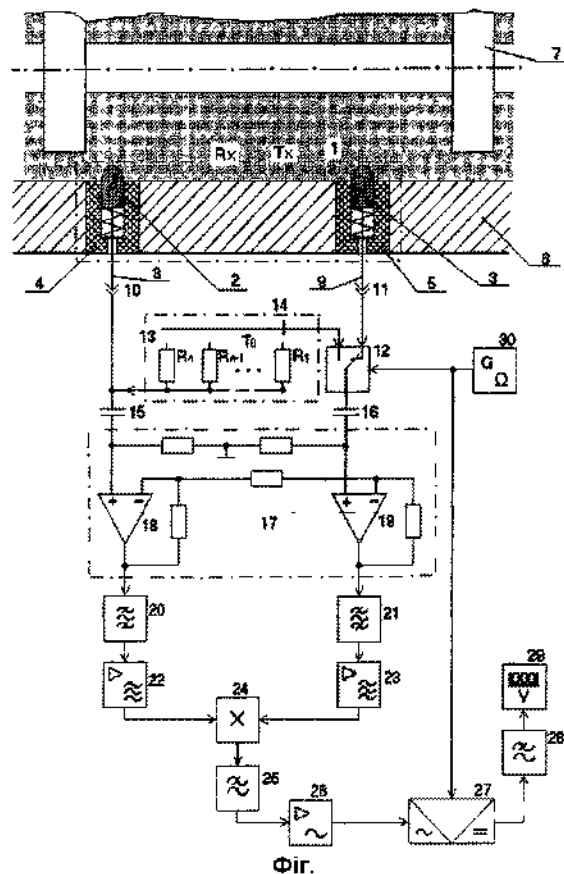
За формулою (13) на цифровому вольтметрі 29 буде відображена різниця температур між розплавом полімеру та температурою термостата 14. Вибір резистора  $R_0$  з ряду  $R_1, R_2 \dots R_{n-1}, R_n$  здійснюється в залежності від типу полімеру, що переробляється в екструдері, та від його електричних характеристик. Оскільки маса розплаву полімеру між електродами 2 та 3 постійна та обумовлюється кроком черв'яка 7, то значення опору  $R_x$  визначається власним питомим опором розплаву полімеру, яке знаходиться в межах від  $10^{11}$  до  $10^{15}$  Ом м. В зв'язку з цим, значення опорів резисторів повинні розраховуватися на весь асортимент полімерів, що переробляються в екструдері. Температура термостата встановлюється згідно технології переробки кожного з типів полімерних матеріалів.

Таким чином, пристрій для контролю температури розплавів полімерних матеріалів дозволяє з більшою точністю та швидкістю вимірювати різницю температур між розплавом полімеру та заданою температурою за технологічним регламентом. При цьому практично повністю виключається знос чутливого елемента датчика температури, так як в якості чутливого елемента використовується сам полімерний розплав.

Приклад.

Досліджувався пристрій для контролю температури розплавів полімерних матеріалів, який виконаний за запропонованою схемою, в діапазоні температур 50...350°C. При переробці поліетилену різних марок використовувався блок змінного опору, що мав сумарне значення опору 10...200 Ом. Вхідний диференціальний підсилювач складався з двох мало шумних операційних підсилювачів типу К140УД17А (Квазар). Смугові фільтри налагоджені на діапазон частот 50...150 кГц. В якості перемножувача використана інтегральна мікросхема ПС501 з відкритими входами. Автоматичний перемикач виконаний на польових транзисторах та керується генератором низької частоти (175 Гц) - симетричним мультивібратором. Вимірювальний прилад використовувався типовий промисловий вольтметр.

Після експлуатації шумовий резистивний перетворювач не був деформований. Приведена статична похибка вимірювань пристрою для контролю температури розплавів полімерних матеріалів не перевищила 0,5% в порівнянні з показами еталона (платинова термопара), що в п'ять раз менше похибки відомого пристрою. При цьому практично повністю виключена динамічна похибка, що суттєво вплинуло на контроль температури розплаву полімерного матеріалу.



Фіг.