

Винахід відноситься до області термометрії і може бути використаний для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдерах за інтенсивністю електричних теплових шумів розплавленої полімерної маси широкого асортименту.

Трудність використання електричних шумів для вимірювання температури розплавів полімерів полягає у низькому рівні сигналу теплового шуму, який складає одиниці або десятки міковольт. Проблемою є вимірювання малої шумової напруги, яка може бути співрозмірною 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 регулярних сигналів на фоні більш інтенсивних власних шумів вимірювальної схеми.

Відомий пристрій для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері за тепловими шумами (див. Стадник Б.І., Микитин І.П. Термошумовий 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 малOSHумних вхідних підсилювача, два смугових фільтра, два широкосмугових підсилювача змінної напруги, перемножувач, фільтр нижніх частот, інтегруючий аналого-цифровий перетворювач, блок інтерфейсу і комп'ютер, при цьому потенційний вихід шумового резистивного перетворювача, другий вихід якого заземлений, з'єднаний з входами двох малOSHумних 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 малOSHумних підсилювачів (вихід шумового резистивного перетворювача безпосередньо підключений до входів двох малOSHумних 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'єкту. 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.

Відомий також пристрій для контролю температури розплаву полімерних матеріалів в екструдері за деклараційним патентом України №56014, А МПК G01K7/30, 2003, що містить шумовий резистивний перетворювач з двома електродами, перший з яких з'єднаний з першим виходом блоку змінного опору та через перший розділовий конденсатор з'єднаний з одним із входів диференційного підсилювача на двох операційних підсилювачах, другий вхід якого через другий розділовий конденсатор з'єднаний з виходом автоматичного перемикача, входи якого з'єднані з другим електродом та другим входом блоку змінного опору, до виходів диференційного підсилювача підключені послідовно з'єднані смугові фільтри та широкосмугові підсилювачі, виходи яких з'єднані з входами перемножувача, до виходу якого підключено перший фільтр нижніх частот, послідовно з'єднані підсилювач низької частоти, синхронний детектор, другий фільтр нижніх частот та цифровий вольтметр, генератор низької частоти з'єднаний з керуючими входами автоматичного перемикача та синхронного детектора.

Крім того, в відомому пристрої для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері вихід першого фільтра нижніх частот з'єднаний безпосередньо з входом підсилювача низької частоти, а вибір резисторів блоку змінного опору відбувається строго за видом полімеру, який переробляється в екструдері

Однак, неминуча відмінність значення опору резистору, відповідного полімерного матеріалу, блоку змінного опору від дійсного значення опору розплаву полімеру, що переробляється в екструдері. Це пов'язане з відмінністю фізико-хімічних властивостей полімеру з різних заводів - виробників, що призводить до збільшення похибки вимірювання різниці температур між розплавом полімеру та встановленого номінального значення в термостаті. Так як на покази цифрового вольтметра в однаковій мірі впливають як зміни температури, так і зміни опору шумового резистивного перетворювача, то точність контролю температури низька.

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 б підвищення точності контролю температури розплавів полімерних матеріалів широкого асортименту з різними фізико-хімічними властивостями.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері, який містить шумовий резистивний перетворювач з двома електродами, перший з яких з'єднаний з першим виходом блоку змінного опору та через перший розділовий конденсатор з'єднаний з одним із входів диференційного підсилювача на двох операційних підсилювачах, другий вхід якого через другий розділовий конденсатор з'єднаний з виходом автоматичного перемикача, входи якого з'єднані з другим електродом та другим входом блоку змінного опору, до виходів диференційного підсилювача підключені послідовно з'єднані смугові фільтри та широкосмугові підсилювачі, виходи яких з'єднані з входами перемножувача, до виходу якого підключено перший фільтр нижніх частот, послідовно з'єднані підсилювач низької частоти, синхронний детектор, другий фільтр нижніх частот та цифровий вольтметр, генератор низької частоти з'єднаний з керуючими входами автоматичного перемикача та синхронного детектора, згідно з винаходом, в нього введені третій операційний підсилювач та два постійних резистора, при цьому вихід першого фільтра нижніх частот з'єднаний з виходом автоматичного перемикача, загальний вихід другого електрода шумового резистивного перетворювача та другий вихід блоку змінного опору з'єднані з інвертуючим входом третього операційного підсилювача, який через перший постійний резистор з'єднаний з його виходом, не інвертуючий вхід операційного підсилювача через другий постійний резистор заземлений, вихід третього операційного підсилювача з'єднаний з входом підсилювача низької частоти.

Саме введення в схему пристрою для контролю температури розплавів полімерних матеріалів в екструдері додаткового третього операційного підсилювача та двох постійних резисторів, при цьому вихід першого фільтра нижніх частот з'єднаний з виходом автоматичного перемикача, загальний вихід другого електрода шумового резистивного перетворювача та другий вихід блоку змінного опору з'єднані з інвертуючим входом третього операційного підсилювача, який через перший постійний резистор з'єднаний з його виходом, не інвертуючий вхід

операційного підсилювача через другий постійний резистор заземлений, вихід третього операційного підсилювача з'єднаний з входом підсилювача низької частоти виключає вплив нерівності значень опорів шумового резистивного перетворювача та блоку змінного опору на вихідну напругу пристрою, що дозволило підвищити точність контролю температури розплавів полімерних матеріалів в широкому асортименті, з різними фізико-хімічними властивостями.

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

Пристрій 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, вмонтованих в корпусі екструдера 6 з черв'яком 7, який обертається. Циліндричні електроди 2 та 3 підключені до вимірювальної схеми за допомогою з'єднувальних кабелів 8 та 9 і роз'ємів 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 з регулятором температури. Другий вихід шумового резистивного перетворювача 1 та другий вихід блоку змінного опору 13 з'єднані з першим розділовим конденсатором 15. Вихід автоматичного перемикача 12 з'єднаний з другим розділовим конденсатором 16. Розділовий конденсатор 15 підключений до першого входу диференційного підсилювача 17, тобто до входу операційного підсилювача 18. Другий розділовий конденсатор 16 підключений до другого входу диференційного підсилювача 17, тобто до входу операційного підсилювача 19. Виходи диференційного підсилювача з'єднані з входами смугових фільтрів 20 та 21, виходи яких через широкосмугові підсилювачі 22 та 23 з'єднані з входами перемножувача 24, вихід якого через перший фільтр нижніх частот 25 з'єднаний з виходом автоматичного перемикача 12. Другий вихід шумового резистивного перетворювача 1 після роз'єму 10 та другий вихід блоку змінного опору 13 з'єднані з інвертуючим входом третього операційного підсилювача 26, не інвертуючий вхід цього підсилювача через постійний резистор 27 заземлений. Вихід третього операційного підсилювача 26 з'єднаний через постійний резистор 28 з своїм інвертуючим входом і з входом підсилювача низької частоти 29, вихід якого з'єднаний з входом синхронного детектора 30, вихід якого з'єднаний з входом другого фільтра нижніх частот 31, вихід якого з'єднаний з цифровим вольтметром 32. Керуючі входи автоматичного перемикача 12 та синхронного детектора 30 з'єднані з виходом генератора низької частоти 33.

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

Електроди 2 та 3 з закругленими головками виготовлені з кольорових металів з високою електропровідністю та розміщені в термостійких ізолюючих втулках 4 та 5, які екранують електроди від металевого корпусу екструдера 6. При цьому електроди 2 та 3 підпружинені, що дозволяє конструктивно виключити можливість зрізу контактів черв'яком 7, що обертається. Відстань між електродами 2 та 3 визначається менша розміру кроку черв'яка 7. Розплав полімеру при температурі 150-300°C на відміну від початкового матеріалу є собою малопровідне середовище з значним питомим опором. В такому середовищі безпосередньо виникнення флуктуаційних носіїв електричного струму (електронів, іонів, диполів), які є джерелом теплового шуму. Для визначення інтенсивності теплового шуму полімерного матеріалу поступають наступним чином.

Електроди занурюються в розплав полімеру, що рухається в екструдері. Опір між електродами 2 та 3 в межах активної зони визначається електричними властивостями полімеру і дорівнює  $R_x$ . Середній квадрат шумової напруги, яка знімається з роз'ємів 10 та 11, згідно рівняння Найквіста пропорційна  $R_x$  і 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 контактам первинного перетворювача,  $\Delta f$  - смуга частот, в якій відбувається виділення шумових шумів,  $T_x$  - термодинамічна 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 рисунку) і розподільовальні конденсатори 15 та 16 поступає на входи диференційного підсилювача 17, до складу якого входять операційні підсилювачі 18 та 19. Шумова напруга диференційним підсилювачем 17 первинно підсилюється та розділюється 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:

$$\bar{U}_x^2 = 4k\Delta f T_0 R_0, \quad (2)$$

За безперервної роботи автоматичного перемикача 12, який керується напругою генератора низької частоти 33, на один вхід диференційного підсилювача 17 по чергово поступають напруги  $U_x$  (відповідає опору та температурі розплаву переробляемого полімеру) та  $U_0$  (відповідає температурі, що встановлена в термостаті, та опору вибраного полімеру за технологічним регламентом), 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:

$$\dot{U}_{18} = K_{18}(U_x + \dot{U}_{ш18}) \quad \dot{U}_{19} = K_{19}(-\dot{U}_x + \dot{U}_{ш19}), \quad (3)$$

$$\ddot{U}_{18} = K_{18}(\ddot{U}_x + \ddot{U}_{ш18}) \quad \ddot{U}_{19} = K_{19}(-\ddot{U}_x + \ddot{U}_{ш19}), \quad (4)$$

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, в комплексному вигляді.

За допомогою смугових фільтрів 20 та 21 з загального спектру шумових напруги (2) та (3) відокремлюються інформативні теплові шуми від низькочастотних шумів нетеплового характеру. Інформаційні термошумові напруги 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 для двох положень автоматичного перемикача:

$$\dot{U}_{22} = K_{17}K_{20}K_{22}(\dot{U}_X + \dot{U}_{ш18}) + K_{22}U_{ш22}, \quad \dot{U}_{23} = K_{17}K_{21}K_{23}(-\dot{U}_X + \dot{U}_{ш19}) + K_{23}U_{ш23}, \quad (5)$$

$$\ddot{U}_{22} = K_{17}K_{20}K_{22}(\ddot{U}_0 + \ddot{U}_{ш18}) + K_{22}U_{ш22}, \quad \ddot{U}_{23} = K_{17}K_{21}K_{23}(-\ddot{U}_0 + \ddot{U}_{ш19}) + K_{23}U_{ш23}, \quad (6)$$

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

Напруги (5) та (6) почергово поступають на входи перемножувача 24. В залежності від положення автоматичного перемикача 12 формуються добутки шумових напруг:

$$\dot{U}_{24} = S_{24}[\dot{U}_{22} \cdot \dot{U}_{23}] = S_{24}[(K_{17}K_{20}K_{22}(\dot{U}_X + \dot{U}_{ш18}) + K_{22}U_{ш22}) \times$$

$$\times (K_{17}K_{21}K_{23}(-\dot{U}_X + \dot{U}_{ш19}) + K_{23}U_{ш23})];$$

$$\ddot{U}_{24} = S_{24}[\ddot{U}_{22} \cdot \ddot{U}_{23}] = S_{24}[(K_{17}K_{20}K_{22}(\ddot{U}_0 + \ddot{U}_{ш18}) + K_{22}U_{ш22}) \times$$

$$\times (K_{17}K_{21}K_{23}(-\ddot{U}_0 + \ddot{U}_{ш19}) + K_{23}U_{ш23})];$$

де  $S_{24}$  - крутизна перетворення перемножувача 24. Добутки напруг (7) та (8) усереднюються фільтром нижніх частот 25. Враховуючи, що шуми підсилювачів 18, 19, 22 і 23 між собою не корельовано, а коефіцієнт кореляції між шумовими сигналами  $K_{17}U_X$  та  $-K_{17}U_X$  наближується до одиниці, а також некорельованість шумів підсилювачів з інформативним сигналом на виході шумового перетворювача 1 в залежності від положення автоматичного перемикача 12 формуються різні постійні напруги.

Після математичних перетворень та нехтуючи членами другого порядку малості отримуємо такі вирази для цих постійних напруг, які формуються на виході фільтра 25:

$$\dot{U}_{25} = -K_{17}^2 K_{20}K_{21}K_{22}K_{23}S_{24}K_{25}U_X^2; \quad (9)$$

$$\ddot{U}_{25} = -K_{17}^2 K_{20}K_{21}K_{22}K_{23}S_{24}K_{25}U_0^2; \quad (10)$$

$K_{25}$  - коефіцієнт передачі фільтра 25 нижніх частот

В залежності від положення автоматичного перемикача 12 постійні напруги  $\dot{U}_{25}$  та  $\ddot{U}_{25}$  поступають на шумовий резистивний перетворювач 1 з опором  $R_X$  або на опір  $R_0$  блоку 13 змінного опору. При вказаному на рисунку положенні автоматичного перемикача напруга (9) через опір  $R_X$  шумового резистивного перетворювача 1 поступає на інвертуючий вхід третього операційного підсилювача 26 з постійним резистором 28 включеного між інверсним входом та виходом цього підсилювача, у якого неінвертуючий вхід заземлений резистором 27. Значення опору постійного резистора 28 дорівнює  $R$ . Коефіцієнт підсилення третього операційного підсилювача за рахунок від'ємного зворотного зв'язку визначається відношенням значень опорів  $R_X$  та  $R$  і не залежить від його коефіцієнту підсилення.

В зв'язку з цим вихідна напруга на третьому операційному підсилювачі 26 з урахуванням (9) буде:

$$\dot{U}_{26} = \frac{R}{R_X} \dot{U}_{25} = -\alpha \frac{R}{R_X} \dot{U}_X^2, \quad (11)$$

де  $\alpha_1 = K_{17}^2 K_{20}K_{21}K_{22}K_{23}K_{25}$  - загальний коефіцієнт перетворення.

Якщо в вираз (11) підставити значення напруги  $\dot{U}_X^2$  з виразу (1) то отримуємо

$$\dot{U}_{26} = -4\alpha_1 k \Delta f T_X R, \quad (12)$$

де  $R = \text{const}$  яка не залежить від складу полімеру.

При перемиканні автоматичного перемикача 12 в інше положення, на інвертуючий вхід третього операційного підсилювача 26 через блок змінного опору 13 поступає напруга (10). В зв'язки цим вихідна напруга третього операційного підсилювача 26 стає аналогічною виразу (11):

$$\ddot{U}_{26} = \frac{R}{R_0} \ddot{U}_{25} = -\alpha_1 \frac{R}{R_0} \ddot{U}_0^2, \quad (13)$$

З урахуванням значень  $\ddot{U}_0^2$  згідно виразу (2) отримуємо:

$$\ddot{U}_{26} = -4\alpha_1 k \Delta f T_0 R. \quad (14)$$

При періодичному перемиканні автоматичного перемикача 12, який керується напругою генератора 33 низької частоти, у вихідній напрузі підсилювача 26 присутня змінна складова напруги з частотою  $\Omega$  перемикання автоматичного перемикача.

$$U_{26} = \left( \frac{\dot{U}_{26} - \ddot{U}_{26}}{2} \right) \text{signsin}(\Omega t + \pi), \quad (15)$$

Змінна напруга (15) підсилюється з коефіцієнтом  $K_{29}$  підсилювачем низької

частоти 29 та випрямляється синхронним детектором 30, який керується тією же напругою, що і автоматичний перемикач від генератора низької частоти 33. Напруга з синхронного детектора згладжується фільтром нижніх частот 31 і вимірюється цифровим вольтметром 32. Вимірювальна напруга з урахуванням формул (12), (14), (15) буде мати вигляд:

$$U_{31} = 2\alpha_1 k \Delta f K_{29} S_{30} K_{31} R [T_X - T_0], \quad (16)$$

де  $K_{29}$  - коефіцієнт підсилювача низької частоти 29;

$S_{30}$  - коефіцієнт випрямлення синхронного детектора 30;

$K_{31}$  - коефіцієнт передачі фільтра нижніх частот 31.

Результуючий коефіцієнт перетворення вимірювальної схеми з урахуванням  $R=\text{const}$  має вигляд:

$$\alpha = 2\alpha_1 k \Delta f K_{29} S_{30} K_{31} R, \quad (17)$$

Результат вимірювань (16) з урахуванням (17) буде відображатися за наступною формулою:

$$U_{31} = \alpha [T_X - T_0] \quad (18)$$

З отриманого виразу (18) бачимо, що за цифровим вольтметром 32 можемо контролювати різницю температур між фактичною температурою розплаву полімерного матеріалу  $T_X$  та температурою  $T_0$  за технологічним регламентом для даного виду полімеру. При цьому результат вимірювань не залежить від варіацій значень опору  $R_X$  та значень опору  $R_0$  блоку змінного опору 13.

Таким чином в блоці 13 змінного опору значення опорів резисторів  $R_1, R_2 \dots R_{n-1}, R_n$ , повинні відповідати середнім значенням опорів полімерів різних типів та сортів. А фактична різниця значень опорів  $R_X$  та  $R_0$  не викличе похибку вимірювання різниці температур  $T_X - T_0$ , що має місце у прототипі.

Таким чином, розроблена схема дозволяє розширити діапазон застосування пристрою на більший асортимент полімерних матеріалів, що переробляються в екструдері, та збільшити точність температурного контролю.

Досліджування виявили, що опір розплаву полімеру, наприклад поліетилену, одного і того ж типу, але різних заводів-виробників відрізняється на 7-10% відносно номінального значення, що призводить до похибки контролю різниці температури до 10K.

Використання запропонованого схемного рішення дозволяє знизити похибку контролю температури до 1,5 K при варіації опору різноманітних видів полімеру (капрон, поліпропілен, полівінілхлорид та інші) до 20%.

