

В. Водотовка, Г. Юрчик*

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",

*Національний університет "Львівська політехніка",

кафедра електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОХВИЛЬОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ: СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНИЙ СИНТЕЗ ІНВАРІАНТНОГО ТЕРМОБАЛАНСНОГО ВИМІРЮВАЧА ШВИДКОСТІ ПОТОКУ РІДИНИ

© Водотовка В., Юрчик Г., 2005

Розглянуто метод підвищення точності контролю швидкості рідинних потоків за допомогою мікропроцесорної вимірювальної структури з підігрівним терморезистором, інваріантної щодо різних неінформативних дестабілізуючих факторів.

It is proposed the method of measurement of the liquid's flow velocity in circle with the use as the thermoresistor's sensor algorithm, which is being measured, and structure of the measurer with invariable function of the measured conversion with regard to different factors of instability.

Постановка проблеми

Підвищення точності вимірювання (контролю) швидкості потоку рідини і пов'язаних з нею масових та об'ємних витрат рідини є однією з важливих задач удосконалення метрологічного забезпечення мікрохвильових надвисокочастотних (НВЧ) технологій обробки речовин та матеріалів. Оптимальне регулювання технологічного процесу, наприклад, під час пастеризації рідинного харчового продукту (придушення патогенної мікробної флори), неможливе без точної інформації про швидкість проходження оброблювальної рідини через зону електромагнітного поля (ЕМП) НВЧ. Окрім цього, надійність роботи потужного НВЧ-генератора (магнетрона) ЕМП з водяним охолодженням, який використовується в НВЧ-технологіях, надзвичайно залежна від стабільності температури анодного блока, яку порушують зміни його корисного навантаження. Тому в цьому разі на вхід регулятора витрат охолоджувальної рідини (як правило, дистильованої води) необхідно подати сигнал, який пропорційний швидкості потоку цієї рідини (води).

Отже, проблема підвищення точності контролю швидкості рідинних потоків в НВЧ-технологіях, поряд з контролем інших технологічних параметрів, таких як температура, вологість, тиск та ін. є актуальною і її вирішення дає можливість здійснювати моніторинг мікрохвильових НВЧ-технологій, досягнути відтворюваності процесів обробки різних речовин і, вочевидь, підвищити якість продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Серед різноманітних вимірювачів швидкості потоку рідини в гідравлічному колі найбільш придатний щодо використання в НВЧ-технологіях, на нашу думку, термобалансний вимірювач, який функціонує в режимі стабілізації температури підігрівного терморезистора, що використовується як сенсор в мостовій автобалансній структурі [1]. Найбільше впливає на точність

вимірювання температура рідини, швидкість потоку якої вимірюється. Забезпечення умови інваріантності результату вимірювання швидкості потоку щодо температури рідини було б важливим кроком на шляху широкого впровадження цього класу вимірювачів у мікрохвильовій НВЧ-технології.

Формування цілі статті

Основною ціллю статті є аналіз запропонованого методу контролю швидкості рідинних потоків на основі термобалансної вимірювальної структури з підігрівним терморезистором, який дає можливість істотно підвищити точність результату контролю за рахунок його високої інваріантності щодо зміни температури контрольованої рідини як головного неінформативного впливового фактора.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо тепловіддачу терморезистора в режимі вільної конвекції. Математичною моделлю процесу тепловіддачі терморезистора в непорушне рідинне середовище є відомі критеріальні рівняння, які мають такий вигляд [2]:

$$\overline{Nu}_{dp} = 0,50 (Gr_{dp} \cdot Pr_p)^{0,25} \cdot (Pr_p/Pr_m)^{0,25}, \quad (1)$$

$$\overline{Nu}_{lp} = 0,76 (Gr_{lp} \cdot Pr_p)^{0,25} \cdot (Pr_p/Pr_m)^{0,25}, \quad (2)$$

де \overline{Nu}_{dp} – усереднений за поверхнею сенсора критерій Нусельта, що характеризує інтенсивність конвективного теплообміну;

Gr_{dp} – критерій Грасгофа, що характеризує ефективність підйімальної сили нагрітих часток рідини, яка діє у вертикальному напрямку;

Pr_p – критерій Прандтля, що характеризує рідину як теплоносій;

Pr_m – критерій Прандтля щодо рідини на поверхні сенсора.

Нижній індекс “d” вказує на горизонтальне положення терморезистора; індекс “l” – на його вертикальну орієнтацію; індекс “p” – на приналежність критерію щодо рідини.

Ці критерії визначаються наступними співвідношеннями [2]:

$$\overline{Nu}_{dp} = \frac{\overline{\alpha}_d \cdot d}{\lambda_p}; \quad \overline{Nu}_{lp} = \frac{\overline{\alpha}_l \cdot l}{\lambda_p}, \quad (3)$$

де $\overline{\alpha}_d$, $\overline{\alpha}_l$ – середні за поверхнею сенсора коефіцієнти тепловіддачі;

λ_p – коефіцієнт теплопровідності шару рідини, що прилягає до поверхні тіла терморезистора;

d – діаметр тіла сенсора, характерний його розмір при горизонтальній орієнтації;

l – довжина тіла сенсора як характерний розмір при його вертикальній орієнтації.

$$Gr_{dp} = g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot \frac{d^3}{\nu^2}; \quad Gr_{lp} = g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot \frac{l^3}{\nu^2}, \quad (4)$$

де g – прискорення земного тяжіння;

β – температурний коефіцієнт об’ємного розширення рідини, що прилягає до поверхні тіла сенсора;

$\Delta t = t_r - t_p$ – температурний напір, різниця температур поверхні сенсора (терморезистора) t_r і середньої температури рідини за перетином труби t_p ;
 ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини.

$$Pr_p = \frac{\nu}{a}, \quad (5)$$

де a – коефіцієнт теплопровідності рідини.

Якщо підставити в (1), (2) вирази критеріїв (3), (4), (5), одержимо значення коефіцієнтів теплопередачі в непорушне рідинне середовище (додається до нижніх індексів "о"):

$$\bar{\alpha}_{do} = 0,50 \frac{\lambda_p}{d} \left(g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot \frac{d^3}{\nu \cdot a} \right)^{0,25}, \quad (6)$$

$$\bar{\alpha}_{lo} = 0,76 \frac{\lambda_p}{l} \left(g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot \frac{l^3}{\nu \cdot a} \right)^{0,25}. \quad (7)$$

Відношення виразу (6) до (7) дає коефіцієнт зміни інтенсивності тепловіддачі терморезистора під час зміни його орієнтації в просторі з горизонтальної на вертикальну

$$\varepsilon_o = \frac{\bar{\alpha}_{do}}{\bar{\alpha}_{lo}} = 0,677 \left(\frac{l}{d} \right)^{0,25}. \quad (8)$$

Наприклад, якщо розміри дротяного терморезистора дорівнюють $l = 0,1$ м, $d = 0,00025$ м, то $\varepsilon_o = 2,98$.

Враховуючи, що термобалансна структура підтримує постійне значення температури поверхні сенсора t_r , незважаючи на зміну інтенсивності його тепловіддачі у навколишню рідину, треба вважати, що усі величини в (6), (7) є досить сталими та визначеними окрім температури рідини t_p у виразі температурного напору $\Delta t = t_r - t_p$.

Термобалансний процес наведено розрахунковою структурною схемою на рис. 1. Опір терморезистора R_T зрівноважується шляхом його нагрівання з встановленою мостовою схемою величиною опору R_o до похибки статизму. Мостова схема перетворює з крутизною \tilde{S}_1 цей залишковий небаланс у вихідний сигнал постійної напруги U , яка змінить з крутизною \tilde{S}_2 вихідну електричну потужність $P_{вих}$. Ця потужність, зменшена в β_o разів, припадає на терморезистор (позначена як P_T) і зменшується на величину $\Delta \tilde{P}_T$, яка характеризує втрати тепла за рахунок передавання його приєднаними до терморезистора провідниками, що з'єднують його з мостовою вимірювальною схемою.

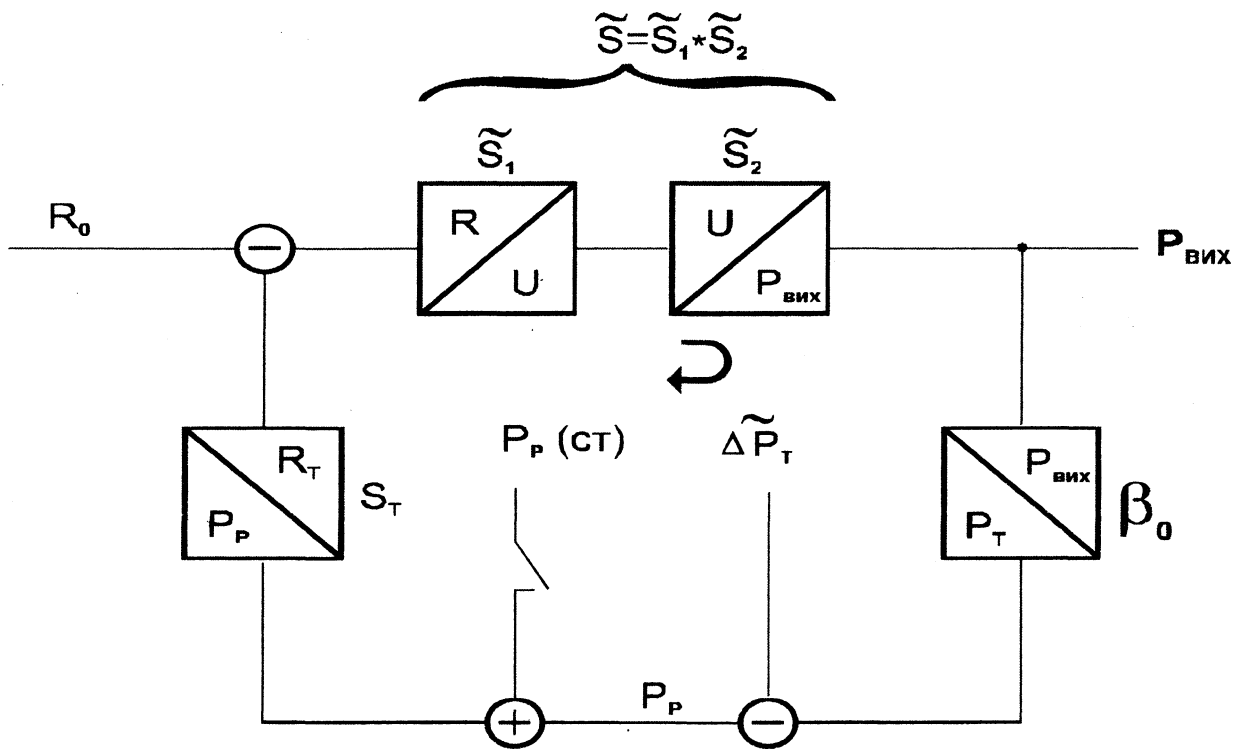


Рис. 1. Розрахункова структурна схема вимірювача швидкості потоку рідини в гідравлічному колі

У механізмі вільного розсіювання теплової енергії нагрітого тіла циліндричної подовженої форми, яким є сенсор, діє сила гравітації, тому потужність розсіювання залежить від його орієнтації у просторі. Щоб середня температура на поверхні сенсора зберігалась постійною і, як наслідок, щоб опір терморезистора R_T зберігався близьким до заданого мостом значення R_0 , вихідна потужність джерела живлення вимірювального моста $P_{вих}$ автоматично змінюється залежно від інтенсивності тепловіддачі. Оцінимо таку поведінку термобалансної структури як її реакцію на збереження балансу і складемо рівняння вимірювального перетворення щодо моментів часу τ_1 , τ_2 , τ_3 , в які формуємо цілеспрямовані дії на процес тепловіддачі сенсора в рідинне непорушне середовище. Рівняння складемо, обходячи по колу замкнений контур з виходу в напрямі, на який вказує стрілка.

У початковий момент часу τ_0 маємо рівняння, що відповідає, наприклад, горизонтальній орієнтації сенсора

$$\left[R_0 - (P_{вих}(\tau_0) \cdot \beta_0 - \Delta \tilde{P}_{T_0}) S_T \right] \cdot \tilde{S}_0 = P_{вих}(\tau_0), \quad (9)$$

де S_T – коефіцієнт чутливості опору терморезистора до розсіюваної ним потужності;

$\tilde{S}_0 = \tilde{S}_{10} \cdot \tilde{S}_{20}$ – загальний коефіцієнт перетворення стосовно моменту часу τ_0 .

У момент часу τ_1 змінюємо орієнтацію сенсора на вертикальну, що відповідає рівнянню

$$\left[R_0 - (\epsilon_0 \cdot P_{вих}(\tau_1) \cdot \beta_0 - \Delta \tilde{P}_{T_1}) S_T \right] \cdot \tilde{S}_1 = P_{вих}(\tau_1). \quad (10)$$

У наступний момент часу τ_2 заміщуємо частину вихідної потужності $P_{\text{вих}}$, що подається на терморезистор автобалансної схеми, відомою величиною потужності від стороннього джерела $P_p^{(CT)}$, як наведено в рівнянні

$$\left\{ R_o - \left[\epsilon_o (P_{\text{вих}}(\tau_2) \cdot \beta_o + P_p^{(CT)}) - \Delta \tilde{P}_{T2} \right] S_T \right\} \tilde{S}_2 = P_{\text{вих}}(\tau_2). \quad (11)$$

Після цього в момент часу τ_3 , зберігаючи результат заміщення в (11), змінюємо орієнтацію сенсора на горизонтальну, що відповідає рівнянню

$$1 \left\{ R_o - \left[(P_{\text{вих}}(\tau_3) \cdot \beta_o + P_p^{(CT)}) - \Delta \tilde{P}_{T3} \right] S_T \right\} \tilde{S}_3 = P_{\text{вих}}(\tau_3). \quad (12)$$

Введемо такі коректні обмеження:

– на відрізок часу $\tau_0 - \tau_3$ коефіцієнти $\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \tilde{S}_3$ та величина $\Delta \tilde{P}_T$ зберігають сталі значення, тобто

$$\tilde{S}_o = \tilde{S}_1 = \tilde{S}_2 = \tilde{S}_3 = \tilde{S}_o; \quad \Delta P_{T0} = \Delta \tilde{P}_{T1} = \Delta P_{T2} = \Delta P_{T3} = \Delta P_T;$$

– загальний петльовий коефіцієнт підсилення $S_T \cdot S \cdot \beta_o \gg 1$.

Візьемо до уваги, що потужність розсіювання сенсора, яка встановлена термобалансною схемою, дорівнює $P_p^{(балан)} = \frac{R_o}{S_T}$, а втрати потужності ΔP_T подамо частиною потужності $\Delta P_{\text{вих}}$, тобто

$$\Delta P_{\text{вих}} = \Delta P_T / \beta_o.$$

Отже, рівняння (9) – (12) з врахуванням коректних обмежень будуть мати такий вигляд:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{вих}}(\tau_0) &= \frac{1}{\beta_o} \cdot P_{po}^{(балан)} + \Delta P_{\text{вих}}^{(o)}, \\ P_{\text{вих}}(\tau_1) &= \frac{1}{\beta_o} \cdot \epsilon_o P_{po}^{(балан)} + \Delta P_{\text{вих}}^{(o)}, \\ P_{\text{вих}}(\tau_2) &= \frac{1}{\beta_o} \cdot \epsilon_o (P_{po}^{(балан)} - P_p^{(CT)}) + \Delta P_{\text{вих}}^{(o)}, \\ P_{\text{вих}}(\tau_3) &= \frac{1}{\beta_o} \cdot (P_{po}^{(балан)} - P_p^{(CT)}) + \Delta P_{\text{вих}}^{(o)}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Індекс “o” вказує на приналежність величин потужностей до процесу тепловіддачі в непорушне рідинне середовище.

Проаналізуємо тепер к тепловіддачі терморезистора в потік рідини. Потік рідини в гідравлічному колі НВЧ-технологій переважно встановлюють ламінарним. Процес тепловіддачі терморезисторів в потік рідини ламінарного характеру ($Re < 2 \cdot 10^3$) моделюють відомим критеріальним рівнянням, яке при орієнтації осі тіла терморезистора під кутом 90° до напрямку потоку має вигляд [2, 3]:

$$Nu_{dp} = 0,56 \cdot Re_d^{0,50} \cdot Pr_p^{0,36} \cdot (Pr_p/Pr_m)^{0,25}, \quad (14)$$

де $Re_d = \frac{wd}{\nu}$ – гідромеханічний критерій Рейнольдса, до якого входять: w – швидкість потоку

рідини;

d – характерний геометричний розмір (діаметр);

ν – кінематичний критерій в'язкості рідини.

З останнього рівняння, подібно до (6), знаходимо середнє по поверхні сенсора значення коефіцієнта тепловіддачі в потік рідини (додається індекс “w”)

$$\bar{\alpha}_{dw} = 0,56 \cdot \lambda \cdot d^{-0,50} \cdot \nu^{-0,14} \cdot a^{-0,36} \cdot w_x^{0,50}, \quad (15)$$

де w_x – швидкість потоку рідини, що контролюється.

Зміна орієнтації тіла терморезистора відносно напрямку потоку, як відомо, змінює інтенсивність тепловіддачі. Залежність коефіцієнта зміни інтенсивності тепловіддачі від кута повороту тіла циліндричної видовженої форми в горизонтальній площині ψ досліджувалась

багатьма дослідниками, наприклад [2, 3], де подано її графічну модель, $\varepsilon_\psi = f(\psi)$, $\varepsilon_\psi = \frac{\alpha_\psi}{\alpha_{90^\circ}}$.

Якщо виконати обчислювальні операції подібно до (9) – (12), одержимо ще одну систему рівнянь

$$\left. \begin{aligned} P_{вих}(\tau_4) &= \frac{1}{\beta_o} \cdot P_{pw}^{(бал)} + \Delta P_{вих}^{(w)}, \\ P_{вих}(\tau_5) &= \frac{1}{\beta_o} \cdot \varepsilon_\psi P_{pw}^{(бал)} + \Delta P_{вих}^{(w)}, \\ P_{вих}(\tau_6) &= \frac{1}{\beta_o} \cdot \varepsilon_\psi (P_{pw}^{(бал)} - P_p^{(CT)}) + \Delta P_{вих}^{(w)}, \\ P_{вих}(\tau_7) &= \frac{1}{\beta_o} \cdot (P_{pw}^{(бал)} - P_p^{(CT)}) + \Delta P_{вих}^{(w)}, \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

де $P_{pw}^{(бал)}$ – потужність розсіювання терморезистора, встановлена балансною схемою;

$\Delta P_{вих}^{(w)}$ – втрати потужності, індекс “w” вказує на приналежність до процесу тепловіддачі в потік рідини.

Потужність розсіювання сенсора, який орієнтовано горизонтально в непорушному рідинному середовищі, визначають із системи рівнянь (13)

$$P_{po}^{(бал)} = \frac{N}{1-N} \cdot P_p^{(CT)}, \quad (17)$$

де N – алгоритмічний коефіцієнт, який визначають за формулою

$$N = \frac{P_{вих}(\tau_o) - P_{вих}(\tau_1)}{P_{вих}(\tau_3) - P_{вих}(\tau_2)};$$

$$P_{po}^{(бал)} = 0,50 \cdot \lambda \cdot d^{-0,25} \cdot g^{0,25} \cdot \beta^{0,25} \cdot \nu^{-0,25} \cdot a^{-0,25} \cdot \Delta t \cdot F.$$

Потужність розсіювання сенсора, який розміщений відносно напрямку потоку рідини горизонтально, визначають із системи рівнянь (16)

$$P_{pw}^{(бал)} = \frac{M}{1-M} P_p^{(ст)}, \quad (18)$$

де

$$M = \frac{P_{вих}(\tau_4) - P_{вих}(\tau_5)}{P_{вих}(\tau_7) - P_{вих}(\tau_6)},$$

$$P_{pw}^{(бал)} = 0,56 \cdot \lambda \cdot d^{-0,50} \cdot \nu^{0,14} \cdot \alpha^{-0,36} \cdot w_x^{0,50} \cdot \Delta t \cdot F,$$

де F – площа поверхні сенсора.

Якщо тепер поділити вираз (18) на (17) і здійснити нескладні математичні перетворення, то отримаємо формулу для визначення швидкості потоку контрольованої рідини у вигляді

$$W_x = (Y \cdot S)^2, \quad (19)$$

де

$$Y = \frac{M(1-N)}{N(1-M)}; \quad S = 0,893(g \cdot d \cdot \beta)^{0,25} (Pr)^{-0,11}.$$

Проаналізовано запропонований метод вимірювання швидкості потоку рідини в гідравлічному колі з метою оцінки його залишкової методичної похибки.

У виразі (19), на відміну від виразу, поданого в [1], скоротилось значення температурного напору Δt , але температурний коефіцієнт об'ємного розширення рідини β залежить зазвичай від її температури. Табличні значення величини β , наприклад для води, в діапазоні температур $0 - 10^\circ\text{C}$ подано з похибкою $\pm 0,5\%$, а числа Прандтля, $Pr = \nu/\alpha$, вказують з такою самою похибкою [2]. Похибкою визначення величини g (гравітаційної сталої) та діаметра терморезистора d знехтуємо.

Величина Y як результат математичних операцій з окремими спостереженнями вихідних потужностей вимірювача $P_{вих}(\tau_i)$ не містить будь-якої значної похибки. Важливий ефект запропонованого алгоритму обчислення величин N та M полягає в тому, що ці величини не містять похибки вимірювача потужності, наприклад,

$$N = \frac{P_{вих}(\tau_0) - P_{вих}(\tau_1)}{P_{вих}(\tau_3) - P_{вих}(\tau_2)} = \frac{[S(1+\gamma)P_{вих}(\tau_0) + \Delta P_{вих}] - [S(1+\gamma)P_{вих}(\tau_1) + \Delta P_{вих}]}{[S(1+\gamma)P_{вих}(\tau_3) + \Delta P_{вих}] - [S(1+\gamma)P_{вих}(\tau_2) + \Delta P_{вих}]},$$

де γ – відносна мультиплікативна складова похибка ватметра;

$\Delta P_{вих}$ – абсолютна адитивна похибка;

S – коефіцієнт вимірювального перетворення ватметра.

З останнього виразу видно, що похибка $\Delta P_{вих}$ в чисельнику та знаменнику компенсується, а коефіцієнт $S(1+\gamma)$ – скорочується.

У виразі (19) також скоротилась величина $P_p^{(ст)}$ – потужність заміщення частини розсіюваної терморезистором потужності на відому (взірцеву) потужність стороннього джерела, що визначає

вимогу до стабільності потужності цього джерела лише на короткому проміжку часу $\tau_0 - \tau_7$, а також усунуто вплив втрати потужності через виток теплоти вантажними провідниками $P_{\text{вих}}$. Крім того, вираз (19) не містить коефіцієнтів $\bar{\epsilon}_o$ і $\bar{\epsilon}_\psi$, як наслідок, похибок їх визначення.

Отже, методичну похибку вимірювача швидкості потоку рідини треба оцінити величиною $\pm 1,5\%$.

Запропоновано метод метрологічної атестації такого вимірювача швидкості потоку рідини. Подамо вираз (19) у вигляді, відомому як функція вимірювального перетворення

$$Y = k \cdot w^{0,5}, \quad (20)$$

де Y – вихідна величина; k – коефіцієнт вимірювального перетворення, $k = 1/S$.

Оцінюючи коефіцієнт k , задають значення швидкості потоку w_i в діапазоні її зміни і вимірюють взірцевим приладом ряд значень w_i . Кожному з цих значень відповідають системи рівнянь, аналогічні (13), (16). Тоді у всьому діапазоні вимірювань $k_i(1 + \gamma_k) \leq (\sqrt{w_{oi}} / Y_i)^{-1}$, а похибку коефіцієнта вимірювального перетворення визначають за відомим критерієм $\gamma_k < (2 - 3)\sigma$.

Структурну схему термобалансного вимірювача швидкості потоку рідини в гідравлічному колі, яка загалом подібна до схеми в [4], наведено на рис. 2.

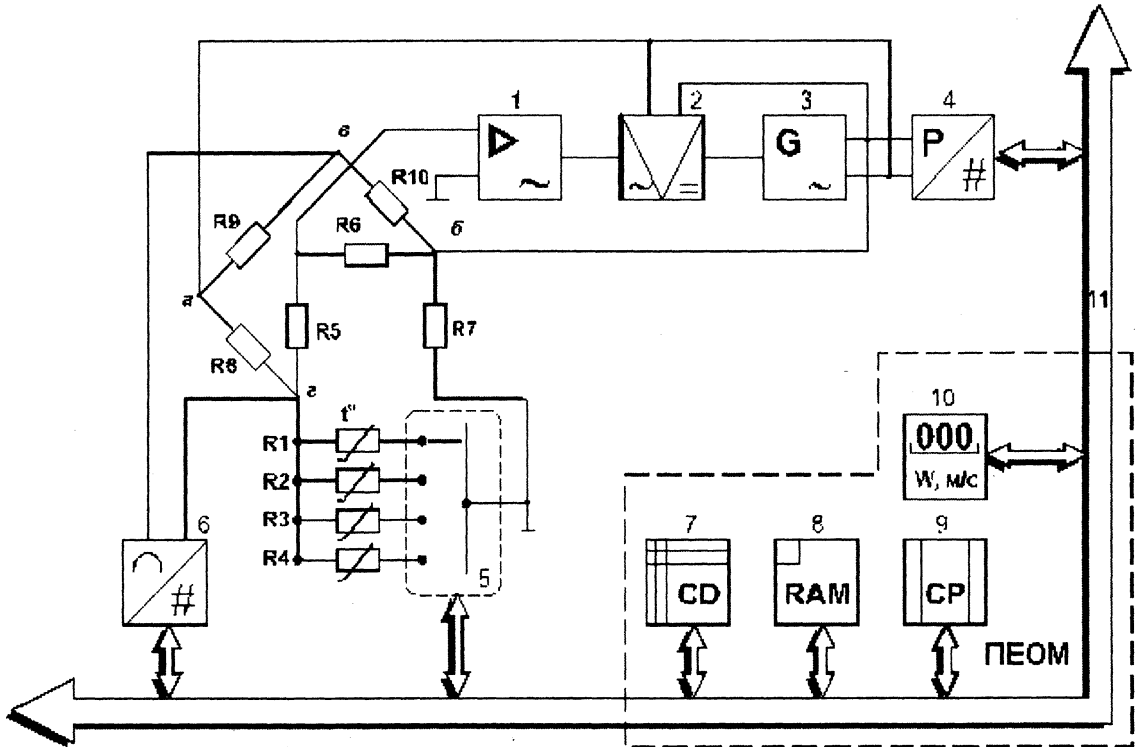


Рис. 2. Структурна схема вимірювача швидкості потоку рідини:

$R_1 - R_4$ – термосенсори; $R_5 - R_{10}$ – резистори вимірювального мосту;

1 – підсилювач напруги небалансу мосту;

2 – амплітудний детектор з фільтром низької частоти;

3 – керований генератор змінного струму; 4 – аналого-цифровий перетворювач;

5 – керований перемикач; 6 – цифро-аналоговий перетворювач;

7 – пристрій управління; 8 – блок оперативної пам'яті; 9 – обчислювальний пристрій;

10 – цифровий індикатор контрольованої швидкості потоку рідини; 11 – загальна шина ПЕОМ

Сенсори R_1, R_2 розміщено в “гідродинамічній тіні” горизонтально та вертикально. Сенсори R_3, R_4 – в потоці рідини, один під кутом 90° до напрямку потоку, а другий – під кутом $\varphi = 20-40^\circ$ до його напрямку. Сигнал небалансу вимірювального мосту підсилюється, синхронно детектується та керує потужністю генератора змінного струму, частота якого f_r визначається умовою $1/f_r \ll T_R$, де T_R – стала нагрівання сенсора. Зворотний зв’язок для реалізації термобалансу – це зв’язок між виходом генератора 3 та вершинами мосту а – б. Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП)4 вихідної потужності генератора 3, як і ЦАП 6, мають узгоджений з ПЕОМ інтерфейс. Переважно ПЕОМ обслуговує мікрохвильовий технологічний процес загалом, а вимірювання швидкості потоку рідини через зону ЕМП НВЧ є однією з багатьох її функцій.

Висновки

У розглянутому методі та пристрої для вимірювання швидкості контрольованого потоку рідини досягнуто високого рівня інваріантності щодо температури рідини як головного фактора, що впливає на точність результату вимірювання. Вперше використано як цілеспрямовану дію на термобалансу вимірювальну структуру зміну орієнтації терморезистора в рідинному середовищі та вимірювання електричної потужності, яке подається на терморезистори. Порівняно з відомими вимірювачами, в яких використовують додаткові температурні вимірювальні канали для корекції їх температурної похибки, в запропонованому вимірювачі досягнуто вищої точності вимірювання завдяки врахуванню механізму теплообміну терморезистора з контрольованим середовищем.

1. Дубовой Н.Д. *Автоматические многофункциональные измерительные преобразователи.* – М.: Радио и связь, 1989. – 256 с. 2. Михеев М.А., Михеева И.М. *Основы теплопередачи.* – М.: Энергия, 1977. – 314 с. 3. Кулишченко В.Р. *Справочник по теплообменным расчетам.* – К.: Техника, 1990. – 165 с. 4. Водотовка В.І., Юрчик Г.В. *Інформаційно-вимірювальна система мікрохвильового технологічного процесу: Канал вимірювання швидкості повітряного потоку // Вісник НУ “Львівська політехніка”.* – 2002. – № 468. – С. 10–18.