

ТЕОРІЯ І ТЕХНІКА ВИМІРЮВАНЬ

УДК 681.121

Іван Стасюк

НУ “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

ВПЛИВ ОБ’ЄМУ ПНЕВМАТИЧНИХ КАМЕР НА ІНЕРЦІЙНІСТЬ ГАЗОДИНАМІЧНИХ МІКРОВИТРАТОМІРІВ ГАЗУ

© Стасюк Іван, 2001

The outcomes of researches of influence of volume of pneumatic cameras on dynamic properties gasdynamic throttle flowmeters small and microflow of gases are described. The graphs of transients in gasdynamic throttle transducers of flow in order to volumes them pneumatic of cameras are shown.

Для нових технологічних процесів, зокрема у виробництві волоконних світловодів та елементів мікроелектроніки, необхідна надійна та якісна робота систем автоматизованого контролю й керування цими процесами. У зв’язку з цим до засобів контрольно-вимірювальної техніки, які застосовуються в системах автоматизації таких технологічних процесів, висувають високі вимоги.

Особливу увагу звертають на точність вимірювання та динамічні характеристики витратомірів малих і мікровитрат газів. Так, наприклад, стала часу витратомірів малих і мікровитрат кисню для технологічного процесу виробництва заготовок волоконних світловодів не повинна перевищувати декількох секунд.

У роботі наведено результати досліджень впливу об’єму пневматичних камер на динамічні властивості газодинамічних дросельних витратомірів малих і мікровитрат газів [1], які застосовують в схемах задавання, вимірювання та регулювання малих і мікровитрат газів у виробництві волоконних світловодів. Такий витратомір складається із газодинамічного дросельного вимірювального перетворювача витрати (ГДВПВ), вторинного вимірювального перетворювача (диференціального манометра з уніфікованим електричним вихідним сигналом), і вторинного приладу. Камери диференціального манометра підключені до вихідних міждросельних пневматичних камер ГДВПВ, виконаного на ламінарних дросельних елементах – скляних капілярних трубках – за схемою газодинамічного дросельного вимірювального моста, зображеного на рис. 1.

Міждросельні пневматичні камери 5 і 6, розміщені у двох паралельних вітках ГДВПВ (див. рис. 1), разом з камерами диференціального манометра і пневмопроводами, що з’єднують їх, утворюють проточні пневматичні камери постійного об’єму і з постійними ламінарними опорами на вході 1 і 3 та виході 2 і 4.

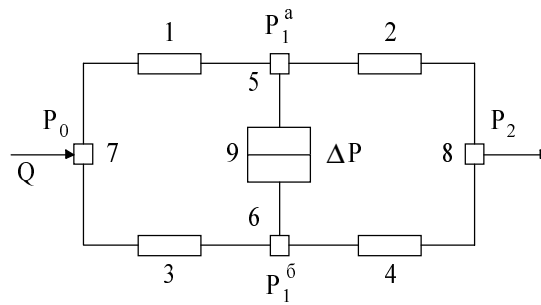


Рис. 1. Мостова вимірювальна схема газодинамічного дросельного витратоміра:

1, 2, 3 і 4 – дросельні елементи; 5 і 6 – міждросельні пневматичні камери;

7 і 8 – вхідна і вихідна пневматичні камери; 9 – камери диференціального манометра

Функція передачі ГДВПВ з паралельно увімкненими проточними пневматичними камерами, перепад тиску в яких є його вимірюваним вихідним сигналом, має вигляд [2]:

$$W_1(p) = \frac{K_a}{T_a p + 1} - \frac{K_b}{T_b p + 1} = \frac{K_a - K_b + (K_a T_b - K_b T_a)p}{T_a T_b p^2 + (T_a + T_b)p + 1}, \quad (1)$$

де

$$\left. \begin{aligned} K_a &= \frac{K_1}{K_1 + K_2}; \\ K_b &= \frac{K_3}{K_3 + K_4}; \\ T_a &= \frac{V_a}{R \Theta (K_1 + K_2)}; \\ T_b &= \frac{V_b}{R \Theta (K_3 + K_4)} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

в яких K_1, K_2, K_3 і K_4 – провідності дросельних елементів, які визначаються згідно з рівнянням

$$K_i = \frac{\pi d_i^4 \rho_i}{128 \mu L_i}, \quad i = 1, 2, 3, 4; \quad (3)$$

V_a і V_b – об'єми відповідно верхньої і нижньої проточних пневматичних камер; d_i і L_i – відповідно діаметр прохідного перетину і довжина каналу i -го дросельного елемента (дросельні елементи 1 і 3 розміщені на вході газу в проточні пневматичні камери, а елементи 2 і 4 – на виході газу із камер); ρ_i – середня густина газу по довжині каналу i -го дросельного елемента; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості газу при температурі Θ .

Із (1) випливає, що динаміка ГДВПВ залежно від співвідношення об'ємів пневматичних камер, геометричних розмірів дросельних елементів і теплофізичних параметрів газу може відповідати як аперіодичній ланці другого порядку, так і такій самій ланці з випередженням. Для усунення випередження необхідно забезпечити виконання такої умови [2]

$$K_a T_b - K_b T_a = 0, \quad (4)$$

що можна забезпечити відповідним вибором об'ємів камер для заданих дросельних елементів. Крім того, із (1) видно, що інерційність ГДВПВ визначається складовими T_a і T_b , а їх можна змінювати за допомогою вибору об'ємів V_a і V_b кожної камери ГДВПВ. Із викладеного випливає, що для забезпечення динамічних характеристик ГДВПВ, які задовольняють вимоги сучасних технологій, необхідно забезпечити виконання умови (4), а також забезпечити мінімально можливий об'єм камер V_a і V_b .

Особливо слід відзначити варіант ГДВПВ, у якому сталі часу T_a і T_b рівні між собою. У цьому випадку із (1) отримуємо

$$W_1(p) = \frac{K}{Tp + 1}, \quad (5)$$

де $K = K_a - K_b$ і $T = T_a = T_b$. Звичайно, цей варіант є найприйнятнішим під час створення ГДВПВ. За допомогою зменшення складових T_a і T_b і забезпечення їх рівності, як правило, завжди можна створювати ГДВПВ з динамічними властивостями, які задовольняють вимоги технологій сучасних виробництв.

Розглянемо вплив співвідношення величин K_a , K_b , T_a і T_b на характер перехідного процесу у ГДВПВ, а відповідно і у газодинамічних витратомірах малих і мікровитрат газів на моделі ГДВПВ, застосовуючи інструмент візуального моделювання SIMULINK комп'ютерної системи проведення математичних розрахунків MATLAB. Блок-схема моделі ГДВПВ зображена на рис. 2. На рис. 3 зображені графіки перехідних процесів у ГДВПВ, які відповідають випадкові $K_a T_b - K_b T_a \neq 0$, тобто аперіодичній ланці другого порядку з випередженням. Причому графіки на рис. 3 відповідають таким випадкам: 1 – $K_a > K_b$ ($K_a = 0,58$; $K_b = 0,52$) і $K_a T_b > K_b T_a$ ($T_a = 1$ с; $T_b = 1,6$ с); 2 – $K_a > K_b$ ($K_a = 0,58$; $K_b = 0,52$) і $K_a T_b < K_b T_a$ ($T_a = 1$ с; $T_b = 0,4$ с). Випадок 1 відповідає дії прямого випередження, а випадок 2 – дії зворотного випередження. Із графіків рис. 3 видно, що такий режим роботи газодинамічних витратомірів малих і мікровитрат газів недопустимий, оскільки він призводить до виникнення значних динамічних похибок, викликаних вибігами сигналу вимірювальної інформації газодинамічних витратомірів за рахунок дії диференціальної складової вихідного сигналу ГДВПВ. Ці вибіги можуть у декілька разів перевищувати сигнал вимірювальної інформації ГДВПВ (корисний сигнал). Слід зауважити, що динамічні похибки більші для випадку 2.

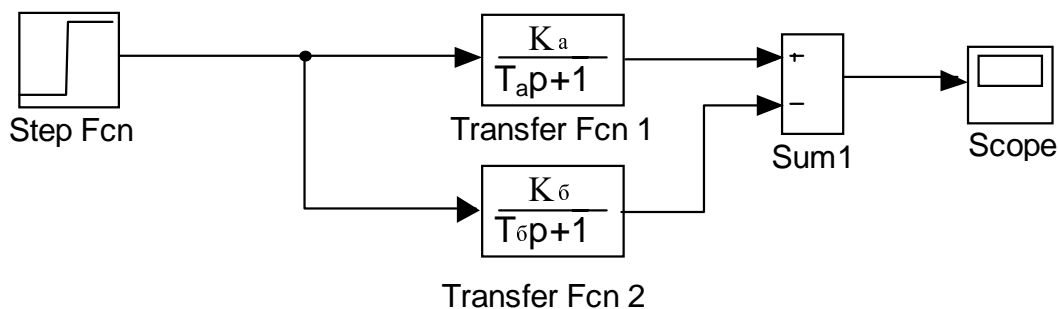


Рис. 2. Блок-схема моделі ГДВПВ із застосуванням інструменту візуального моделювання SIMULINK комп'ютерної системи проведення математичних розрахунків MATLAB

На рис. 4. зображено графік 1 перехідного процесу у ГДВПВ, який відповідає випадкові $K_a T_b - K_b T_a = 0$, тобто аперіодичній ланці другого порядку ($K_a = 0,58$; $K_b = 0,44$; $T_a = 1$ с; $T_b = 0,76$ с). Графік 2 на рис. 4 подає перехідний процес у ГДВПВ, який відповідає рівності між собою сталих часу T_a і T_b , тобто аперіодичній ланці першого порядку ($K_a = 0,58$; $K_b = 0,44$; $T_a = 1$ с; $T_b = 1$ с). Графіки перехідних процесів на рис. 3 і 4 відповідають одиничному збуренню на вході ГДВПВ.

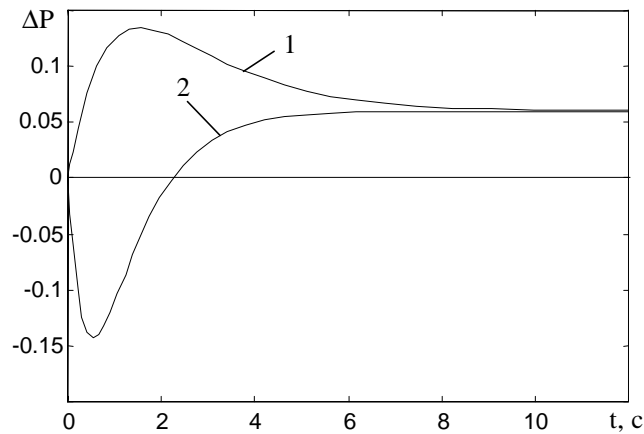


Рис. 3. Графіки перехідних процесів у ГДВПВ, які відповідають випадкові $K_a T_b - K_b T_a \neq 0$, тобто аперіодичній ланці другого порядку з випередженням:

- 1 – $K_a > K_b$ ($K_a = 0,58$; $K_b = 0,52$) і $K_a T_b > K_b T_a$ ($T_a = 1$ с; $T_b = 1,6$ с);
 2 – $K_a > K_b$ ($K_a = 0,58$; $K_b = 0,52$) і $K_a T_b < K_b T_a$ ($T_a = 1$ с; $T_b = 0,4$ с)

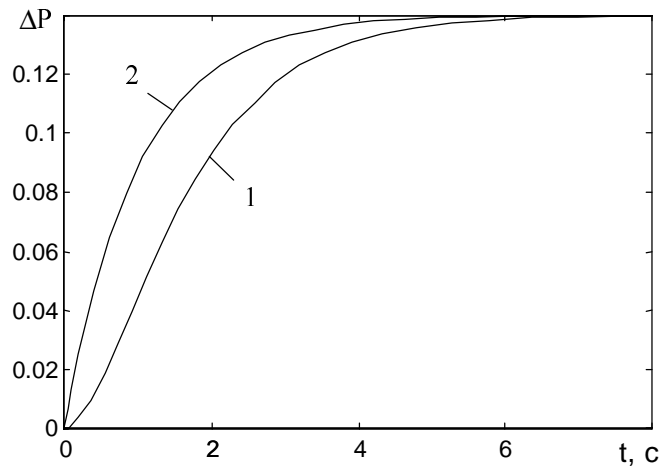


Рис. 4. Графіки перехідних процесів у ГДВПВ, які відповідають:

- 1 – випадкові $K_a T_b - K_b T_a = 0$, тобто аперіодичній ланці другого порядку;
 2 – рівності між собою сталих часу T_a і T_b , тобто аперіодичній ланці першого порядку

Перехідні процеси, аналогічні до отриманих на моделі, спостерігалися і під час експериментальних випробовувань реальних газодинамічних дросельних витратомірів малих і мікровитрат газів, у яких змінювались значення об'ємів пневматичних камер ГДВПВ – верхньої камери V_a і нижньої V_b (див. рис. 1), а відповідно і сталих часу T_a і T_b .

Отже, об'єми пневматичних камер ГДВПВ та їх співвідношення визначають динамічні властивості газодинамічних дросельних витратомірів малих і мікровитрат газів. Тому для дотримання вимог сучасних технологічних процесів щодо інерційності та точності вимірювання таких витратомірів необхідно під час їх конструювання враховувати об'єми пневматичних камер ГДВПВ та їх співвідношення та забезпечувати відповідні їх значення.

1. А. с. № 1278584 (СССР). Устройство для измерения малых расходов // Е.П.Пистун, И.Д. Стасюк // Бюл. изобрет. 1986. № 47. 2. Пистун Е.П., Стасюк И.Д. Дослідження динамічних властивостей газодинамічних дросельних витратомірів малих і мікровитрат газів // Методи та прилади контролю якості. 2000. № 5. С. 35-38.