

УДК 681.586.3:681.5.017

Р.Я.Грудецький

Луцький національний технічний університет

ДРОСЕЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ – АНАЛІЗ СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ

В роботі є розробка принципів моделювання та синтезу дросельних схем газогідродинамічних пристроїв контролю для розширення їх можливостей щодо застосування для вимірювання технологічних параметрів та контролю складу речовин, синтезу відповідних газогідродинамічних пристроїв контролю та пристроїв метрологічного забезпечення.

Ключові слова: моделювання, схема, пристрій.

На сьогодні в різних галузях науки і техніки широкого застосування набули газогідродинамічні дросельні пристрої. Ці пристрої побудовані на базі газогідродинамічних ефектів, що виникають при протіканні газу чи рідини через дросельний елемент. При цьому для отримання первинних сигналів використовують такі процеси, як дроселювання потоків, взаємодія струменів, генерування струменевими елементами коливань, вихроутворення, перетворення ламінарного потоку в турбулентний, дія на потік газу чи рідини силового поля та інші.



Рис. 1. Дросельний елемент «клапан»

В основі газогідродинамічного методу застосовуються правила, за допомогою яких можна описувати з'єднання елементів. Так, кортеж $\langle L, T \rangle$ описує схему послідовного з'єднання ламінарного L і турбулентного T дроселів, або кортеж $\langle R, C \rangle$ – відповідно схему послідовного з'єднання резистора R і конденсатора C , причому спочатку іде резистор R , а за ним – конденсатор C . Важливими є правила встановлення кортежів певної довжини при заданих множинах вихідних елементів, з яких складатимуться ці кортежі. Для знаходження таких кортежів застосовують операцію прямого декартового добутку множин вихідних елементів. Така операція використовується при описі послідовного з'єднання елементів.

При паралельному з'єднанні двох вихідних елементів порядок їх включення в пари вже ролі не відіграє, однак множини елементів, що описують такі схеми, також слід відносити до впорядкованих множин. Тому для опису паралельного з'єднання елементів пропонуємо застосувати нову впорядковану множину, введenu проф. Пістуном Є.П., а саме – “шеренгу” [1-2]. Елементи таких множин за аналогією до кортежів також називають компонентами. Число ж елементів в шерензі назвемо її шириною. В шерензі, як і в кортежі, на відміну від елементів множини, компоненти можуть повністю або частково співпадати, причому компонентами можуть бути будь-які об'єкти, в тому числі – множини, кортежі і шеренги. Для позначення шеренг будемо застосовувати дужки $[]$. Так, наприклад, шеренга ширини 3, перша компонента якої є a_1 , друга – a_2 і третя – a_3 , запишеться таким чином: $[a_1, a_2, a_3]$.

Відомі такі поняття рівності шеренг: шеренги α і β рівні: $\alpha = \beta$, якщо α і β мають однакову ширину і однакові компоненти незалежно від їх розташування. З цього означення випливає, що перестановка компонент в шерензі, на відміну від кортежу, не змінює шеренги, тобто $[a, b] = [b, a]$.

Поняття шеренги зручно застосовувати для опису паралельного з'єднання елементів. Так, при такому з'єднанні двох вихідних елементів утворені пари визначають як шеренги ширини 2, компонентами яких є вихідні елементи. Для знаходження множини шеренг із вихідних елементів застосуємо таку нову операцію над множинами, як непрямий добуток множин.

Непрямим добутком множин A і B називають множину, яка складається із всіх тих і тільки тих шеренг ширини 2, одна з компонент яких належить A , а друга – належить B . Непрямий добуток множин A і B позначимо $A*B$. Так, якщо $A = \{a, b\}$, а $B = \{a, b, c\}$, то $A*B = \{ [a, a], [a, b], [a, c], [b, b], [b, c] \}$. Аналогічно шукають шеренги більшої довжини, а саме:

якщо $A = \{a, b\}$, $B = \{a, b, c\}$, $C = \{a, c\}$ то $A*B*C = \{ [a, a, a], [a, a, c], [a, b, a], [a, b, c], [a, c, a], [a, c, c], [b, b, a], [b, b, c], [b, c, c] \}$.

На базі газогідродинамічного методу можна будувати пристрої контролю технологічних параметрів, які є вибухо- і пожежобезпечні, як правило, не бояться перевантажень і вібрацій, можуть працювати в умовах радіації, володіють високою надійністю, прості у виробництві та обслуговуванні. Пристрої контролю можуть бути побудовані також на основі вимірювальних перетворювачів із застосуванням додаткового аналогово-дискретного перетворення сигналу на виході.

Широкого застосування газогідродинамічні дросельні пристрої набули для вирішення задач метрологічного забезпечення газоаналітичної апаратури. Основними метрологічними засобами перевірки газоаналізаторів є перевірювальні газові суміші. Суть методу перевірювальних газових сумішей полягає в перевірці та корекції показів газоаналізатора при пропусканні через нього зразкових газових сумішей відомого складу. За допомогою газодинамічних дросельних синтезаторів газових сумішей можна готувати зразкові газові суміші безпосередньо на місці їх використання. Дослідження показують, що такий спосіб отримання зразкових перевірювальних сумішей є економічно вигідний і ефективний. Однак ряд відомих реалізацій цього способу не забезпечують необхідних для практичних задач метрологічних характеристик.

Так, наприклад, відомий пристрій для калібрування газоаналізаторів, що містить блоки з чистими компонентами, комутатор та паралельні канали, в кожному з яких встановлено ротаметр і вентилі, а також змішувач. Основним недоліком такого пристрою є його невисока точність, обумовлена тим, що склад готової суміші, яка надходить на калібрування газоаналізатора, встановлюють з допомогою вентилів і ротаметрів, для яких, як відомо, є характерною невисока точність вимірювання і залежність показів від багатьох факторів (температура навколишнього середовища, барометричний тиск і т.д.). Крім того необхідним є індивідуальне градуювання пристрою.

Аналіз робіт на основі гідрогазодинамічного дросельного методу, які можна віднести до області газогідродинамічного дросельного методу, показує, що майже всі розробки дросельних пристроїв виконані без систематизованих теоретичних основ. Було запропоновано будувати такі перетворювачі в основному за схемами, відомими із електричних методів вимірювання: схема на одному дросельному елементі, диференційна або мостова дросельна схема на чотирьох дросельних елементах. При цьому більшість можливих схем побудови дросельних перетворювачів не були відомі і, звичайно, не розглядалися. Відсутність адекватних математичних моделей дросельних вимірювальних схем, недостатнє їх експериментальне дослідження не дали змоги повністю реалізувати можливості вказаного методу.

Як бачимо, аналіз можливостей і характеристик різних дросельних вимірювальних схем та їх співставлення, необхідне для побудови конкретного газогідродинамічного пристрою, є досить складною задачею. Цю задачу можна розв'язати шляхом математичного моделювання та синтезу дросельних схем для побудови на них газогідродинамічних пристроїв.

При послідовному з'єднанні первинних дроселів важливим є порядок їх включення в пари. У зв'язку з цим такі дроселі другого порядку можуть бути математично описані та визначені як кортежі довжини 2, компонентами яких є первинні дросельні елементи, тобто це є кортежі над множиною D_1 . Множину шуканих кортежів, тобто множину D_{21} дроселів другого порядку, утворених послідовним з'єднанням дроселів першого порядку, знаходять таким чином:

$$D_{21} = D_1 \times D_1 \cup D_1 \times D_1. \quad (1.1)$$

Оскільки ж множина первинних дросельних елементів визначена лише як одна множина D_1 , то $D_1 \times D_1 \cap D_1 \times D_1 = D_1 \times D_1$ і множину D_{21} знаходять за операцією прямого добутку множин:

$$\begin{aligned}
 D_{21} &= D_1 \times D_1 = \\
 &= \{ \langle d_1, d_1 \rangle, \langle d_1, d_2 \rangle, \dots, \langle d_1, d_n \rangle, \\
 &\quad \langle d_2, d_1 \rangle, \langle d_2, d_2 \rangle, \dots, \langle d_2, d_n \rangle, \\
 &\quad \dots, \\
 &\quad \langle d_n, d_1 \rangle, \langle d_n, d_2 \rangle, \dots, \langle d_n, d_n \rangle \},
 \end{aligned}
 \tag{1.2}$$

де дужками $\langle \rangle$ позначені кортежі, а число елементів k_{21} множини D_{21} рівне:

$$k_{21} = n^2.$$

При паралельному з'єднанні пари утворюють із всіх однотипних первинних дросельних елементів i , крім того, із всіх різнотипних дросельних елементів. Множина D_{22} дроселів другого порядку, утворених паралельним з'єднанням однотипних дроселів першого порядку, буде мати вигляд:

$$D_{22} = \{ [d_1, d_1], [d_2, d_2], \dots, [d_n, d_n] \}, \tag{1.3}$$

а число її елементів дорівнює:

$$k_{22} = n. \tag{1.4}$$

Множина D_{23} дроселів другого порядку, утворених паралельним з'єднанням різнотипних дроселів першого порядку, являє собою множину всіх 2-елементних підмножин множини D_1 . Враховуючи введене поняття шеренги множина D_{23} матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
 D_{23} &= \{ [d_1, d_2], [d_1, d_3], \dots, [d_1, d_{n-1}], [d_1, d_n], \\
 &\quad [d_2, d_3], [d_2, d_4], \dots, [d_2, d_{n-1}], [d_2, d_n], \\
 &\quad \dots, \\
 &\quad [d_{n-2}, d_{n-1}], [d_{n-2}, d_n], \\
 &\quad [d_{n-1}, d_n] \},
 \end{aligned}
 \tag{1.4}$$

а число елементів цієї множини дорівнює:

$$k_{23} = \frac{n!}{2(n-2)!} = \frac{1}{2}(n-1)n. \tag{1.5}$$

Множину D_2 всіх дроселів другого порядку, які можна утворити із дроселів першого порядку, знаходять таким чином:

$$D_2 = D_{21} \cup D_{22} \cup D_{23}, \tag{1.6}$$

причому $D_{21} \cap D_{22} \cap D_{23} = \emptyset$. Із врахуванням цього загальну кількість k_2 елементів множини D_2 , тобто кількість всіх дроселів другого порядку:

$$k_2 = k_{21} + k_{22} + k_{23} = n^2 + n + \frac{1}{2}(n-1)n = \frac{n(3n+1)}{2}. \tag{1.7}$$

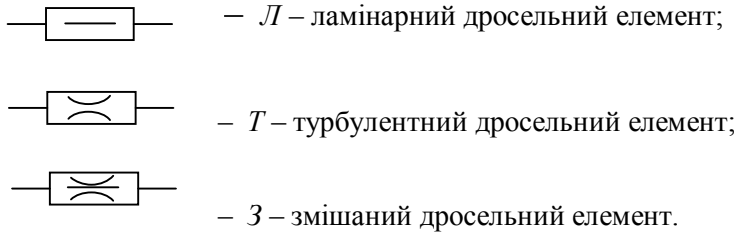
Отримані залежності дають можливість визначити всі можливі варіанти побудови дроселів другого порядку при будь-якій кількості n первинних дроселів. При збільшенні числа типів первинних дроселів кількість дроселів другого порядку, які можна з них побудувати суттєво зростає (див. табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Кількість дроселів другого порядку, які можуть бути утворені із n -типів первинних дросельних елементів

n	1	2	3	4	5	6	7
k_{21}	1	4	9	16	25	36	49
k_{22}	1	2	3	4	5	6	7
k_{23}	0	1	3	6	10	15	21
k_2	2	7	15	26	40	57	77

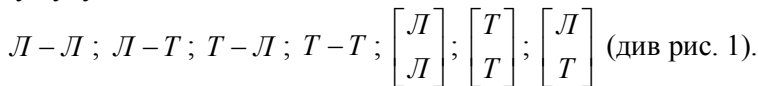
Як приклад розглянемо синтез дроселів другого порядку із найбільш поширених типів дросельних елементів: довгої циліндричної трубки з ламінарним режимом протікання середовища, отвору в тонкій стінці з турбулентним докритичним режимом протікання середовища та короткої циліндричної трубки з ламінарним режимом протікання середовища, які умовно називають ламінарним (Л), турбулентним (Т) та змішаним (З), відповідно, і позначають:



З метою текстуально-графічного опису з'єднань дроселів введемо позначення:
 $L - T$ - послідовне з'єднання дроселів, наприклад ламінарного і турбулентного;
 $\begin{bmatrix} L \\ T \end{bmatrix}$ - паралельне з'єднання дроселів, наприклад ламінарного і турбулентного.

Якщо $n = 1$, тобто в нашому розпорядженні є лише один тип дроселя, наприклад $D_1 = \{L\}$, то $k_{21} = 1, k_{22} = 1, k_{23} = 0$ і $k_2 = 2$, а дроселі другого порядку мають вигляд: $L - L$; $\begin{bmatrix} L \\ L \end{bmatrix}$.

При $n = 2$, наприклад, $D_1 = \{L, T\}$, то $k_{21} = 4, k_{22} = 2, k_{23} = 1$ і $k_2 = 7$, дроселі другого порядку будують таким чином:



Із трьох типів первинних дросельних елементів, коли $n = 3$, вже можна побудувати 15 дроселів другого порядку. Так, якщо $D_1 = \{L, T, Z\}$, то $k_{21} = 9, k_{22} = 3, k_{23} = 3$ і $k_2 = 15$, дроселі другого порядку мають вигляд: $L - L$; $L - T$; $L - Z$; $T - L$; $T - T$; $T - Z$; $Z - L$; $Z - T$; $Z - Z$; $\begin{bmatrix} L \\ L \end{bmatrix}$; $\begin{bmatrix} T \\ T \end{bmatrix}$; $\begin{bmatrix} Z \\ Z \end{bmatrix}$; $\begin{bmatrix} L \\ T \end{bmatrix}$; $\begin{bmatrix} L \\ Z \end{bmatrix}$; $\begin{bmatrix} T \\ Z \end{bmatrix}$.

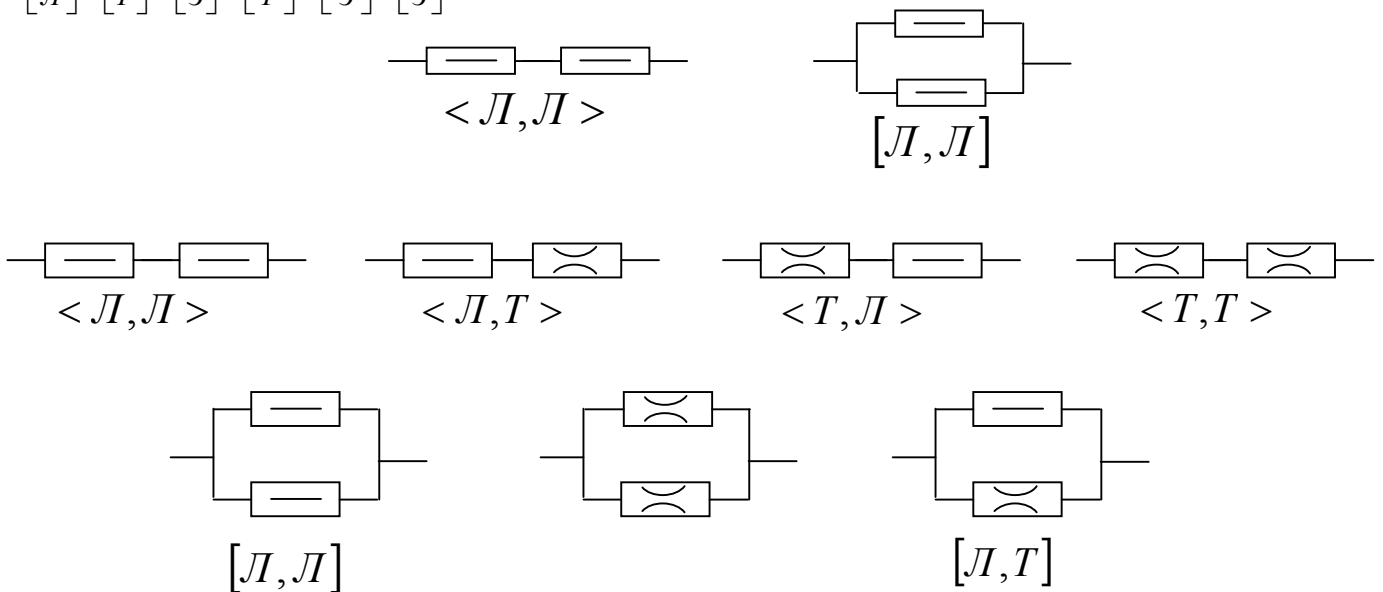


Рис. 1. Схеми дроселів другого порядку

Таким чином, застосовуючи розширену теорію впорядкованих множин, розроблену методологію опису та правила синтезу структури дросельних схем, можна не тільки описати структуру будь-якої дросельної схеми, а й отримати нові структури, тобто синтезувати нові структури газогідродинамічних дросельних схем, на основі яких в свою чергу можна будувати вимірювальні перетворювачі, пристрої контролю складу плинних речовин та пристрої метрологічного забезпечення з новими більш широкими можливостями.

1. Пістун Є.П., Леськів Г.Ф. Побудова та моделювання газогідродинамічних вимірювальних схем на двох дросельних елементах // *Методи та прилади контролю якості*. – 2002. - № 9. - С.35-38.
2. Пістун Є.П., Леськів Г.Ф. Побудова та моделювання газогідродинамічних вимірювальних перетворювачів на мостових дросельних схемах // *Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація: Вісник НУ "ЛП"*. – 2003. - № 476. - С.18-26.