УДК 62.501.433

С. І. САМБОРСЬКИЙ

СИСТЕМИ З ПАРАЛЕЛЬНИМ ДИНАМІЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ

Неможливість виміряти змінні вектора стану та використати їх для управління привела дослідників до побудови так званих слідкуючих пристроїв, які дають асимптотичну оцінку вектора стану.

Тепер для синтезу систем використовують деяку динамічну підсистему — динамічний регулятор. Для формування управління використовують як вихід системи, так і змінні стану підсистеми [3]. Введення існуючих динамічних регуляторів у систему підвищує порядок вихідної системи, що є недоліком [1].

Розглянемо систему з паралельним динамічним регулятором, який не підвищує порядок вихідної системи і дає змогу довільно вибирати корені характеристичного рівняння замкнутої системи.

Нехай об'єм описується передаточною функцією

$$W_0(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_n s^{n-1} + b_{n-1} s^{n-2} + \cdots + b_2 s + b_1}{s^n + a_n s^{n-1} + a_{n-1} s^{n-2} + \cdots + a_2 s + a_1}, \qquad (1)$$

де Y — вихід об'єкта; U — управління.

Сформуємо управління U у вигляді лінійної комбінації

$$U(s) = \sum_{i=1}^{n+1} p_i u_i(s) + \Delta \quad i = 1, 2, 3 \cdots n, \qquad (2)$$

де p_i — довільні коефіцієнти кола управління; $\Delta = g - y$ — похибка регулювання; g — задання системи.

Компоненти управління $U_i(s)$ визначимо як

$$U_i(s) = \frac{s^{i-1}}{s^n + c_n s^{n-1} + c_{n-1} s^{n-2} + \cdots c_2 s + c_1} X(s), \qquad (3)$$

де $c_i = 1, 2, 3 \ldots n$ — довільні коефіцієнти кола зворотнього зв'язку динамічного регулятора

$$X = g + y.$$

Для формування управління (2) можна використати різні динамічні системи. Щоб спростити подальші дослідження, побудуємо паралельний динамічний регулятор, використовуючи спосіб паралельного програмування динамічних систем, для побудови якого можна безпосередьо використати коефіцієнти виразів (2) і (3). На рис. 1 показана структурна схема управління об'єктом (1) з паралельним динамічним регулятором. Використавши формулу Мезона, за структурною схемою рис. 1 записуємо передаточну функцію замкнутої системи

$$\Phi(s) = \frac{Y(s)}{g(s)} =$$

$$= \frac{\begin{gathered}\frac{b_n s^{n-1} + b_{n-1} s^{n-2} + b_2 s + b_1}{s^n + a_n s^{n-1} + a_{n-1} s^{n-2} + a_2 s + a_1}\left(1 + \frac{c_n}{s} + \frac{c_{n-1}}{s^2} + \cdots + \right. \\ \left. + \frac{c_2}{s^{n-1}} + \frac{c_1}{s^n}\right) \frac{b_n s^{n-1} + b_{n-1} s^{n-2} + \cdots + b_2 s + b_1}{s^n + a_n s^{n-1} + a_{n-1} s^{n-2} + \cdots + a_2 s + a_1} \times \\ \times \left(-\frac{p_n}{s} - \frac{p_{n-1}}{s^2} - \cdots - \frac{p_2}{s^{n-1}} - \frac{p_1}{s^n}\right)\end{gathered}}{\begin{gathered}1 + \frac{(b_n s_n^{-1} + b_{n-1} s^{n-2} + \cdots + b_2 s + b_1) p_n}{s^n (s^n + a_n s^{n-1} + a_{n-1} s^{n-2} + \cdots + a_2 s + a_1)} + \\ + \frac{(b_n s^{n-1} + b_{n-1} s^{n-2} + \cdots + b_2 s + b_1) p_{n-1}}{s^{n-1} (s^n + a_n s^{n-1} + a_{n-1} s^{n-2} + \cdots + a_2 s + a_1)} + \\ + \frac{b_n s^{n-1} + b_{n-1} s^{n-2} + \cdots + b_2 s + b_1) p_2}{s^2 (s^n + a_n s^{n-1} + a_{n-1} s^{n-2} + \cdots + a_2 s + a_1)} + \\ + \frac{(b_n s^{n-1} + b_{n-1} s^{n-2} + \cdots + b_2 s + b_1) p_1}{s (s^n + a_n s^{n-1} + a_{n-1} s^{n-2} + \cdots + a_2 s + a_1)} + \\ + \frac{b_n s^{n-1} + b_{n-1} s^{n-2} + \cdots + b_2 s + b_1}{s^n + a_n s^{n-1} + a_{n-1} s^{n-2} + \cdots + a_2 s + a_1} \times \\ \times \left(1 + \frac{c_n}{s} + \frac{c_{n-1}}{s^2} + \cdots + \frac{c_2}{s^{n-1}} + \frac{c_1}{s^n} + \frac{c_1}{s} + \frac{c^{n-1}}{s^2} + \cdots + \frac{c_2}{s^{n-1}} + \frac{c_1}{s_n}\right)\end{gathered}} \tag{4}$$

Після перетворення (4) одержуємо

$$\Phi(s) =$$

$$= \frac{\dfrac{\begin{gathered}(b_n s^{n-1} + b_{n-1} s^{n-2} + \cdots + b_2 s + b_1)(s^n + (c_n - p_n) s^{n-1} + \\ + (c_{n-1} - p_{n-1}) s^{n-2} + \cdots + (c_2 - p_2) s + (c_1 - p_1)\end{gathered}}{(s^n + a_n s^{n-1} + a_{n-1} S^{n-2} + \cdots + a_2 s + a_1) s^n}}{\begin{gathered}1 + \frac{b_n s^{n-1} + b_{n-1} s^{n-2} + \cdots + b_2 s + b_1}{s^n + a_n s^{n-1} + a_{n-1} s^{n-2} + \cdots + a_2 s + a_1} \times \\ \times \frac{s^n (c_n - p_n) s^{n-1} + (c_{n-1} - p_{n-1}) s^{n-2} + \cdots + (c_2 - p_2) s + c_1 - p_1}{s^n} + \\ + \frac{c_n}{s} + \frac{c_{n-1}}{s^2} + \cdots + \frac{c_2}{s^{n-1}} + \frac{c_1}{s^n}\end{gathered}} \tag{5}$$

Якщо виконати динамічний регулятор таким чином, щоб

$$c_i - p_i = a_i, \quad i = 1, 2, 3, \ldots n+1, \tag{6}$$

то передаточна функція (5)

$$\Phi(s) = \frac{b_n s^{n-1} + b_{n-1} s^{n-2} + \cdots + b_2 s + b_1}{s^n + (c_n + b_n) s^{n-1} + (c_{n-1} + b_{n-1}) s^{n-2} + \cdots + (c_2 + b_2) s + c_1 + b_1}. \tag{7}$$

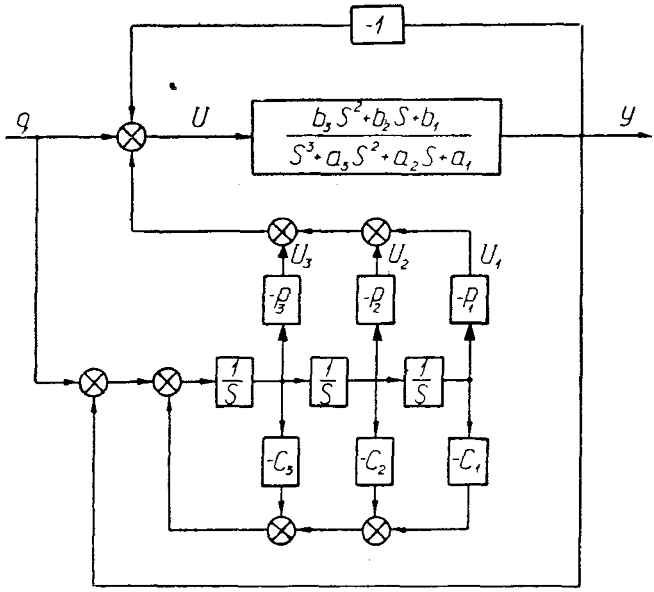

Рис. 1. Загальна структурна схема системи.

Нехай поліном знаменника бажаної передаточної функції має потрібні корені (2)

$$A^*(s) = s^n + a_n^* s^{n-1} + a_{n-1}^* s^{n-2} + \cdots + a_2^* s + a_1^*. \tag{8}$$

Прирівнюючи поліном знаменника (7), синтезованої системи (8), одержуємо систему рівнянь

$$\begin{aligned} c_n + b_n &= a_n^*, \\ c_{n-1} + b_{n-1} &= a_{n-1}^*, \\ &\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots \\ c_2 + b_2 &= a_2^*, \\ c_1 + b_1 &= a_1^*. \end{aligned}$$

Звідси визначимо невідомі коефіцієнти зворотнього зв'язку динамічного регулятора

$$c_i = a_i - b_i, \quad i = 1, 2, 3 \ldots n. \tag{9}$$

Тепер коефіцієнти кола зворотнього зв'язку однозначно визначаються з виразу (6)

$$p_i = c_i - a_i, \quad i = 1,\ 2,\ 3 \ldots n.$$

Остаточно з врахуванням формули (9) знаходимо коефіцієнти кола зворотнього зв'язку

$$p_i = a_i^* - (a_i + b_i), \quad i = 1, 2, 3 \cdots n. \tag{10}$$

Таким чином визначені коефіцієнти кола управління та кола зворотнього зв'язку динамічного регулятора.

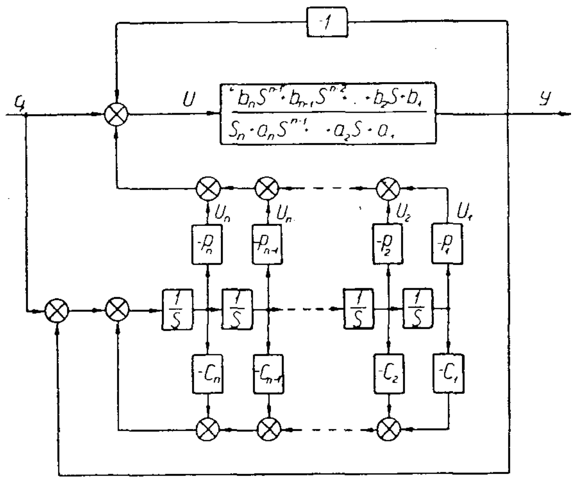

Рис. 2. Структурна схема системи третього порядку.

У випадку, коли об'єкт не має нулів, процедура синтезу значно спрощується і по суті зводиться до відшукання одного коефіцієнта.

$$c_i = a_1^* - b_1, \tag{11}$$

Інші коефіцієнти знаходять формально

$$c_i = a_i^*, \quad i = 1, 3 \cdots n. \tag{12}$$

Отже, на основі паралельного динамічного регулятора можна синтезувати систему з потрібними коефіцієнтами полінома знаменника передаточної функції. Відзначимо, що при цьому не підвищується порядок синтезованої системи, що є перевагою паралельного динамічного регулятора.

Приклад. Розглянемо систему управління об'єктом третього порядку на основі паралельного динамічного регулятора. На рис. 2 показана розгорнута структурна схема системи. На основі формули Мезона записуємо передаточну функцію замкнутої системи

$$\Phi(s)=$$

$$=\frac{\frac{b_3s^2+b_2s+b_1}{s^3+a_3s^2+a_2s+a_1}\left(1+\frac{c_3}{s}+\frac{c_2}{s^2}+\frac{c_1}{s^3}\right)+ +\frac{b_3s^2+b_2s+b_1}{s^3+a_3s^2+a_2s+a_1}\left(-\frac{p_3}{s}-\frac{p_2}{s^2}-\frac{p_1}{s^3}\right)}{1-\frac{(b_3s^2+b_2s+b_1)p_3}{s^3(s^3+a_3s^2+a_2s+a_1)}-\frac{(b_3s^2+b_2s+b_1)p_2}{s^2(s^3+a_3s^2+a_2s+a_1)}- -\frac{(b_3s^2+b_2s+b_1)p_1}{s(s^3+a_3s^2+a_2s+a_1)}+\frac{b_3s^2+b_2s+b_1}{s^3+a_3s^2+a_2s+a_1}\times \times\left(1-\frac{c_3}{s}-\frac{c_2}{s^2}-\frac{c_1}{s^3}\right)}. \quad (13)$$

Після перетворення (13) одержуємо

$$\Phi(s)=$$

$$=\frac{\frac{b_3s^2+b_2s+b_1}{s^3+a_3s^2+a_2s+a_1}\;\frac{s^3+(c_3-p_3)s^2+(c_2-p_2)s+c_1-p_1}{s^3}}{1+\frac{b_3s^2+b_2s+b_1}{s^3+a_3s^2+a_2s+a_1}\;\frac{s^3+(c_3-p_3)s^2+(c_2-p_2)s+c_1-p_1}{s^3}+ +\frac{c_3s^2+c_2s+c_1}{s^3}}. \quad (14)$$

Якщо виконати динамічний регулятор таким чином, щоб

$$p_i=c_i-a_i \quad i=1,\ 2,\ 3, \quad (15)$$

то передаточна функція

$$\Phi(s)=\frac{b_3s^2+b_2s+b_1}{s^3+(c_3+b_3)s^2+(c_2+b_2)s+c_1+b_1}. \quad (16)$$

Нехай поліном знаменника передаточної функції має необхідні корені

$$A^*(s)=s^3+a_3^*s^2+a_2^*s+a_1^*. \quad (17)$$

Прирівнюючи поліном знаменника формули (16) синтезуючої системи (17)), записуємо систему рівнянь, з якої визначаємо коефіцієнти кола зворотнього зв'язку динамічного регулятора

$$c_1=a_1^*-b_1, \quad c_2=a_2^*-b_2, \quad c_3=a_3^*-b_3.$$

Для апаратурної реалізації паралельного динамічного регулятора можна використати інтегральні операційні підсилювачі.

Список литературы: 1. *Кунцевич В. М., Личак М. М.* Синтез систем автоматичного регулювання з допомогою функцій Ляпунова. — М.: Наука, 1977. 2. *Соколов Н. Н.* Аналітичний метод синтезу лінеаризованих систем автоматичного регулювання. — М.: Машинобудування, 1966. 3. *Фурасов В. Д.* Устойчивость движения, оценки и стабилизации. — М.: Наука, 1977.

The article deals with the dynamic-regulation systems. Application of the regulator does not increase the order of the given system and makes it possible to choose the polynom of the transfer-function denominator.

Стаття надійшла в редколегію 24. 02. 82