

Б.М. ГОНЧАРЕНКО, д-р техн. наук,
О.П. ЛОБОК, канд. фіз.-мат. наук
Національний університет харчових технологій

АНАЛІТИЧНЕ КОНСТРУЮВАННЯ ДИСКРЕТНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АПЕРІОДИЧНИМ ОБ'ЄКТОМ З ЗАПІЗНЮВАННЯМ

Розглянута задача синтезу в рамках лінійної теорії дискретного регулятора для керування аперіодичним неперервним технологічним об'єктом з запізнюванням в каналі керування. Показане формування рекурентного співвідношення у вигляді різницевого рівняння, яке дозволяє обчислити значення керувального діяння у будь-якому такті квантування.

Ключові слова: дискретний регулятор, z -перетворення, зворотний зв'язок, синтез керування, передатна функція, канал керування, збурення, рекурентне співвідношення, різницеве рівняння.

Рассмотрена задача синтеза в рамках линейной теории дискретного регулятора для управления аperiodическим непрерывным технологическим объектом с запаздыванием в канале управления. Показано формирование рекуррентного соотношения в виде разностного уравнения, которое позволяет вычислить значение управляющего действия в каком-либо такте квантования.

Ключевые слова: дискретный регулятор, z -преобразование, обратная связь, синтез управления, передаточная функция, канал управления, возмущение, рекуррентное соотношение, разностное уравнение.

The task of synthesis within the framework of linear theory of discrete regulator is considered for a management aperiodicheskiiy object continuous technological object with a delay in the channel of management. Forming of recurrent correlation is shown as raznostnoe| equalization which allows to calculate the value of managing action in some time of quantum.

Keywords: discrete regulator, z -transformation, feedback, synthesis of management, transmission function, management channel, indignation, recurrent correlation, raznostnoe equalization.

Більшість технологічних об'єктів керування в харчовій промисловості є аперіодичними і статичними. Для них відомі розв'язки задач синтезу керування за умови відсутності запізнювання у каналі керування або за умови апроксимації динамічних властивостей аперіодичного об'єкта з запізнюванням аперіодичною ланкою другого порядку [1], при якій реальне транспортне запізнювання в каналі керування заміщується на перехідне, а синтез керування залишається в межах лінійної теорії.

Тут покажемо, як за допомогою z -перетворення як основи аналізу дискретних систем здійснити в рамках лінійної теорії синтез (аналітичне конструювання) дискретного регулятора для керування аперіодичним об'єктом з запізнюванням в каналі керування.

Нехай технологічний об'єкт керування ТОК має динамічні властивості, які відображаються за каналом збурення аперіодичною ланкою першого порядку

ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

$$W_{of}(p) = \frac{Y(p)}{F(p)} = \frac{k_f}{T_0 p + 1}, \quad (1)$$

де $Y(p)$, $F(p)$ — зображення за Лапласом керованої змінної та збурювального діяння, відповідно; k_f , T_0 — коефіцієнт підсилення та стала часу каналу збурення об'єкта, а за каналом керування — аперіодичною ланкою першого порядку з запізнюванням:

$$W_{ок}(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{k_0 \cdot \exp(-p\tau)}{T_0 p + 1}, \quad (2)$$

де $U(p)$ — зображення за Лапласом керувального діяння; k_0 , T_0 , τ — коефіцієнт підсилення, стала часу та запізнювання каналу керування ТОК.

Структурна схема такого ТОК представлена на рис. 1 в неперервному варіанті.

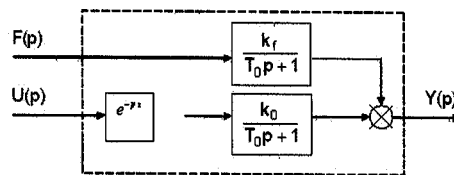


Рис. 1. Структурна схема ТОК

У z-формі передатна функція (1) має вигляд [2]:

$$W_{of}(z) = \frac{y(z)}{f(z)} = k_f \frac{1 - a_p}{1 - a_p z^{-1}} z^{-1}, \quad (3)$$

де $y(z)$, $f(z)$ — z-зображення вихідної (керованої) змінної $y(t)$ та збурювального діяння $f(t)$.

$$a_p = \exp(-T / T_0),$$

T — період квантування.

Передатна функція (2) відповідно набуває [2] наступного z-вигляду:

$$W_{ок}(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = k_0 \frac{1 - a_p}{1 - a_p z^{-1}} z^{-(k+1)}, \quad (4)$$

де $u(z)$ — z-зображення керувального діяння, $k = \tau / T$.

З огляду на вирази z-передатних функцій каналів ТОК його структурна схема в дискретному вигляді представлена на рис. 2.

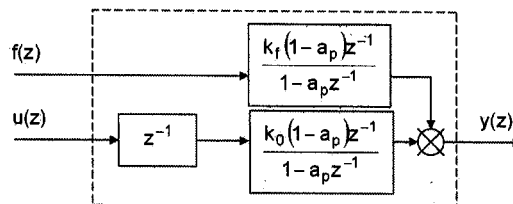


Рис. 2. Дискретна структурна схема ТОК

Доповнимо структурну схему ТОК передатною функцією дискретного регулятора в ланцюгу зворотного зв'язку, щоб одержати структурну схему системи автоматичного керування (регулювання) САК.

На рис. 3 зображена структурна схема неперервної САК з неперервним (аналоговим) регулятором $D(p)$, який ще належить аналітично сконструювати.

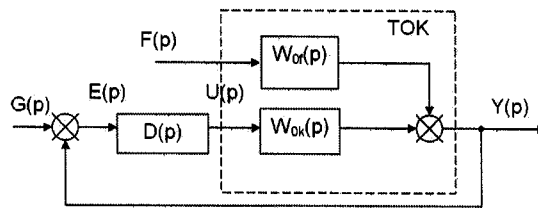


Рис. 3. Структурна схема неперервної САК ТОК

На рис. 3 крім $D(p)$ позначені: $W_{ок}(p)$ — канал збурення ТОК; $W_{ок}(p)$ — канал керування ТОК; $G(p)$, $E(p)$, $F(p)$ — зображення за Лапласом задавального діяння, неузгодження та збурення, відповідно.

Для визначення передатної функції (аналітичного конструювання) неперервного регулятора з передатною функцією $D(p)$ за рис. 3 запишемо передатну функцію замкненої САК з оглядом на бажану аперіодичність перехідного процесу керування як

$$\Phi(p) = \frac{Y(p)}{G(p)} = \frac{\exp(-p\tau)}{1 + T_3 p}, \quad (5)$$

де T_3 — стала часу замкненої системи; $G(p)$ — зображення за Лапласом задавального діяння.

Із рис. 3 очевидно, що при $F(p) = 0$ (за принципом суперпозиції) рівнянням САК відносно зображень буде вираз:

$$Y(p) = W_{ок}(p) D(p) [G(p)] - Y(p). \quad (6)$$

З цього рівняння передатна функція $D(p)$ аналітично сконструйованого неперервного регулятора визначається як:

$$D(p) = \frac{Y(p) / G(p)}{W_{ок}(p) \cdot [1 - Y(p) / G(p)]}. \quad (7)$$

Оскільки за виразом (5) $\Phi(p) = Y(p)/G(p)$, то:

$$D(p) = \frac{\Phi(p)}{W_{ок}(p) \cdot [1 - \Phi(p)]}. \quad (8)$$

Підставивши у вираз (8) $D(p)$ вираз $W_{ок}(p)$ (2) та вираз $\Phi(p)$ (5), отримаємо передатну функцію неперервного регулятора $D(p)$, сконструйованого аналітично, у вигляді:

$$D(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = \frac{1 + T_0 p}{k_0 [1 - \exp(-p\tau) + T_3 p]}. \quad (9)$$

Очевидно, що його фізична реалізація на базі аналогових засобів автоматизації з огляду на наявність у знаменнику ланки запізнювання надто утруднена і майже неможлива, тому і не здійснюється. Це, до речі, пояснює і обмежений перелік стандартних законів регулювання.

Якщо скористатися дискретними (цифровими) засобами, наприклад, персональним комп'ютером або КОМ для реалізації $D(z)$, то одержимо дискретну САК ТОК (рис.4).

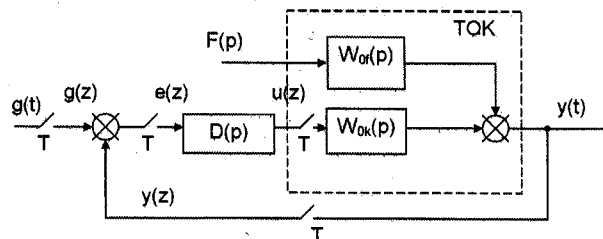


Рис. 4. Структурна схема дискретної САК ТОК

ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

На рисунку 4 зображена відповідна структурна схема дискретної САК з аналітично сконструйованим дискретним регулятором $D(z)$. На схемі зображені і імпульсні елементи з періодом квантування T і Z -зображення відповідних сигналів і діянь.

Користуючись структурною схемою дискретної САК (рис. 4) при $F(p) = 0$ за принципом суперпозиції, напишемо рівняння САК відносно Z -зображень:

$$y(z) = W_{ок}(z) D(z) [g(z) - y(z)], \quad (10)$$

де $W_{ок}(z) = \frac{z-1}{z} \cdot \left[\frac{W_{ок}(p)}{p} \right]$ — дискретна передатна функція ТОК за каналом керування.

З виразу (10) випливає, що дискретна передатна функція аналітично сконструйованого дискретного регулятора ТОК буде:

$$D(z) = \frac{y(z) / g(z)}{W_{ок}(z) \cdot [1 - y(z) / g(z)]}. \quad (11)$$

Очевидно, що вираз $y(z)/g(z)$ є передатною функцією замкненої системи керування, яку можна визначити, застосувавши до виразу її передатної функції (5) Z -перетворення. Тоді:

$$\Phi(z) = \frac{y(z)}{g(z)} = \frac{1 - a_3}{1 - a_3 z^{-1}} z^{-(k+1)}, \quad (12)$$

де $a_3 = \exp(-T / T_3)$.

Підстановка відповідних виразів $W_{ок}(z)$ (4) та $\Phi(z)$ (12) у вираз $D(z)$ (11) дає рівняння аналітично сконструйованого дискретного регулятора ТОК:

$$D(z) = \frac{(1 - a_3) \cdot (1 - a_p z^{-1})}{k_0(1 - a_p) \cdot [1 - a_3 z^{-1} - (1 - a_3) \cdot z^{-(k+1)}]}, \quad (13)$$

що повністю відповідає передатній функції ДРД (Даліна) типу III [2], із реалізацією якої в дискретній формі не виникає жодних труднощів.

В [2] для такого регулятора було наведене рекурентне співвідношення у вигляді різницевого рівняння, яке дозволяє обчислити в n -мому такті (на nT -кроці) значення керувального діяння:

$$u(nT) = a_0 e[nT] - a_1 e[(n-1)T] - b_1 u[(n-1)T] + b_2 u[(n-k-1)T]. \quad (14)$$

З останнього виразу очевидно, що для обчислення керувального діяння на n -мому кроці потрібно:

1. Обчислити неузгодження $e(nT)$ на кроці n і знайти його значення, яке було на кроці $(n-1)$, тобто $e[(n-1)T]$, а також мати значення керувальних діянь $u[(n-1)T]$ та $u[(n-k-1)T]$, які були обчислені на кроках $(n-1)$ та $(n-k-1)$;

2. Перемножити значення змінних $e(nT)$, $e[(n-1)T]$, $u[(n-1)T]$ та $u[(n-k-1)T]$ на відповідні коефіцієнти a_0 , a_1 , b_1 та b_2 .

3. Додати (скласти) одержані результати.

Очевидно, що обчислення керувального діяння найдоцільніше здійснити у вигляді комп'ютерної програми, що реалізує відповідне рекурентне співвідношення.

Висновок. Аналітичне конструювання дискретного регулятора для керування аперіодичним з запізнюванням об'єктом з застосуванням z -перетворення відбувається в рамках лінійної теорії. Синтезований регулятор дозволяє керувати неперервним об'єктом за законом дискретного регулятора Даліна типу III [2], з реалізацією якого у вигляді комп'ютерної програми розв'язання різницевого рівняння не виникає жодних труднощів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гончаренко Б.М., Лобок О.П. Синтез оптимальних регуляторів для динамічного об'єкта другого порядку. — К.: НУХТ, Харчова промисловість, №7, 2008. — 89 — 91с.
2. Гончаренко Б.М., Ладанюк А.П., Лобок О.П. Цифрові системи керування: Навч. посіб. — Вінниця: Нова книга, 2007. — 158с.

Одержана редколегією 30.03.11р.