

УДК 621.398

Н.Б. Репнікова, В.Ю. Федулова, Т.Я. Богодьорова

Національний технічний університет України «КПІ», Київ

## СИНТЕЗ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ З ПнД-РЕГУЛЯТОРАМИ

Запропоновано нову формулу розрахунку коефіцієнтів ПнД-регуляторів, які забезпечують високу якість синтезованої цифрової системи управління.

**Ключові слова:** синтезовані цифрові системи управління, ПнД-регулятори.

## Вступ

Як відомо, ПД(ПД) – регулятори отримали широке застосування в системах управління різних галузей промисловості таких як хімічна, аерокосмічна, металургійна, теплоенергетична та ін..

В літературі приводяться приклади синтезу цифрових систем управління з такими регуляторами, за допомогою методу компенсації нулями ПД-регулятора полюсів керованого процесу [1]. Цей метод гарно працює, коли синтезується система другого порядку. Але з зростанням кількості полюсів системи, метод передбачає алгоритм підбору параметрів, що набагато знижує його цінність.

У даній статті запропонований новий алгоритм синтезу ПнД-регуляторів, що дозволяє синтезувати цифрові системи управління будь-якого порядку та забезпечувати високу якість системи.

## Основний матеріал

На рис. 1 представлена типова структурна схема ПнД-регулятора і його синтез полягає в визначенні коефіцієнтів пропорційної та диференційної складових ( $K_P, K_D$ ).

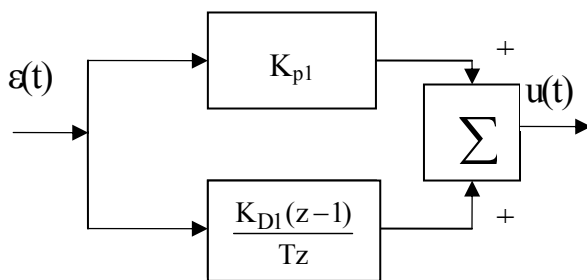


Рис. 1. Структурна схема ПнД - регулятора

При збільшенні порядку системи ланки ПнД-регулятора з'єднуються послідовно.

Нехай керований процес описується передавальною функцією третього порядку:

$$W(s) = \frac{K}{s(T_1s+1)(T_2s+1)} \quad (1)$$

Якщо перейти до Z-перетворення, то отримаємо передавальну функцію об'єкта керування у цифровому вигляді:

$$W(z) = \frac{Az^2 + Bz + C}{(z-1)(z-z_1)(z-z_2)} \quad (2)$$

Оскільки необхідно компенсувати два полюси  $z_1$  і  $z_2$  для синтезу цифрової системи будемо використовувати ПнД-регулятор за формулою:

$$\left\{ \begin{aligned} \left( K_{P1} + \frac{K_{D1}}{T} \right) \left( K_{P2} + \frac{K_{D2}}{T} \right) &= K'_{\text{ГРАН}}; \\ \frac{K_{D1}}{K_{P1}T + K_{D1}} &= z_1; \\ \frac{K_{D2}}{K_{P2}T + K_{D2}} &= z_2; \\ K_{P1} + \frac{K_{D1}}{T} &= 1, \end{aligned} \right. \quad (3)$$

де  $K_{P1}, K_{P2}$  – коефіцієнти пропорційних складових регулятора;  $K_{D1}, K_{D2}$  – коефіцієнти диференційних складових регулятора;  $K$  – коефіцієнт підсилення передавальної функції об'єкта управління;

$$K'_{\text{ГР}} = K_{\text{ГР}} / A, \quad (4)$$

де  $A = 2, 4, 8$ . Конкретне значення коефіцієнту  $A$  вибираємо за умови потрібної якості системи;  $K_{\text{ГРАН}}$  – коефіцієнт підсилення системи, при якому система ще не виходить в нестійку область;  $T$  – період квантування сигналу за часом.

Розглянемо застосування викладеного способу на прикладі об'єкта третього порядку, що описується передавальною функцією:

$$W(s) = \frac{2}{s(0,7s+1)(0,2s+1)} \quad (5)$$

Нехай період квантування сигналу за часом  $T = 0,1$  с.

1. Перейдемо в Z – перетворення, враховуючи період квантування сигналу за часом:

$$W_{\text{ПнД}}(z) = \frac{0,002036z^2 + 0,006964z + 0,001476}{z^3 - 2,473z^2 + 1,999z - 0,5258} \quad (6)$$

2. Визначимо граничний коефіцієнт підсилення системи відомими методами (наприклад, з використанням біноміального перетворення):

$$K_{\text{ГРАН}} = 242,60.$$

$$\text{Тоді } K'_{\text{ГРАН}} = K_{\text{ГРАН}} / 8 = 30,325.$$

3. Запишемо систему рівнянь для обчислення коефіцієнтів П2Д-регулятора за формулою (3):

$$\left\{ \begin{aligned} \left( K_{P1} + \frac{K_{D1}}{0,1} \right) \left( K_{P2} + \frac{K_{D2}}{0,1} \right) &= 30,325; \\ \frac{K_{D1}}{0,1K_{P1} + K_{D1}} &= 0,8646; \\ \frac{K_{D2}}{0,1K_{P2} + K_{D2}} &= 0,60835; \\ K_{P1} + \frac{K_{D1}}{0,1} &= 1. \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Розв'язавши дану систему, отримаємо такі значення коефіцієнтів П2Д-регулятора:

$$\begin{aligned} K_{P1} &= 0,1354; & K_{D1} &= 0,0864; \\ K_{P2} &= 11,87677; & K_{D2} &= 1,844825. \end{aligned} \quad (8)$$

4. Виконаємо моделювання вихідної і синтезованої цифрової системи за допомогою пакета Matlab.

Графіки перехідного процесу вихідної і синтезованої систем представлені на рисунку рис. 3. Як видно з графіків перехідних процесів, в скоректованій цифровій системі практично нульове пере регулювання та значно зменшився час регулювання.

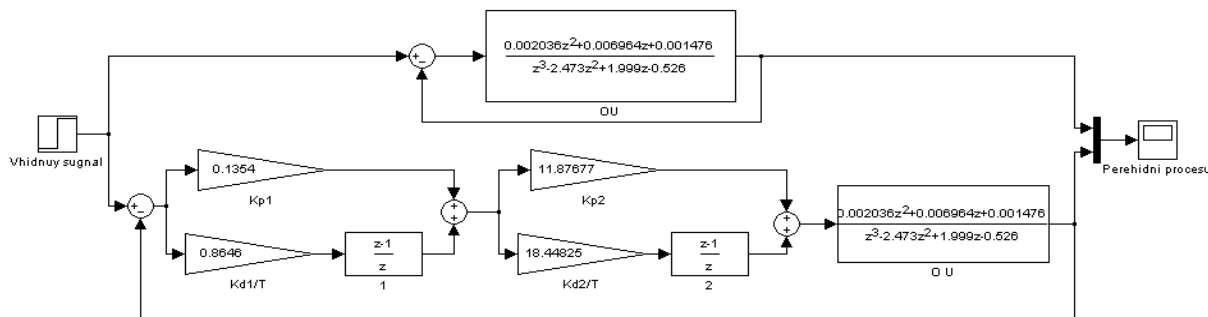


Рис. 2. Модель вихідної і синтезованої цифрової системи

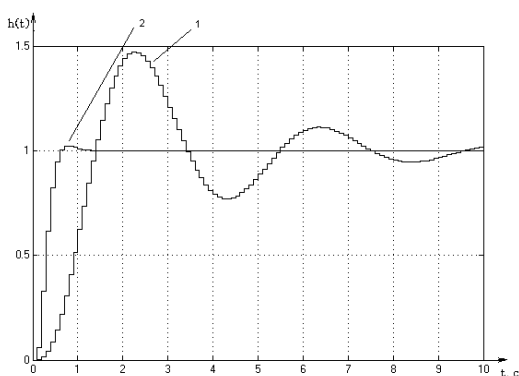


Рис. 3. Графіки перехідних процесів в початковій (1) і скоректованій (2) системі

Було проведені експериментальні дослідження для систем вищих порядків, коли керований процес описується формулою:

$$W(s) = \frac{K}{s(T_1s + 1)(T_2s + 1)...(T_ns + 1)}. \quad (9)$$

Або якщо перейти до Z-перетворення, отримаємо передавальна функцію об'єкта керування у цифровому вигляді:

$$W(z) = \frac{Az^n + Bz^{n-1} + \dots + C}{(z-1)(z-z_1)...(z-z_n)}. \quad (10)$$

Для визначення коефіцієнтів ПnД-регулятора використовується формула:

$$\left\{ \begin{aligned} \left( K_{P1} + \frac{K_{D1}}{T} \right) \left( K_{P2} + \frac{K_{D2}}{T} \right) \dots \left( K_{Pn} + \frac{K_{Dn}}{T} \right) &= K'_{ГРАН}; \\ \frac{K_{D1}}{K_{P1}T + K_{D1}} = z_1; \dots; \frac{K_{Dn}}{K_{Pn}T + K_{Dn}} = z_n; \\ (K_{P1} + \frac{K_{D1}}{T}) = 1; \dots; (K_{Pn-1} + \frac{K_{Dn-1}}{T}) &= 1. \end{aligned} \right. \quad (11)$$

### Висновки

Таким чином, проведені експериментальні дослідження підтвердили достовірність запропонованих аналітичних співвідношень для визначення всіх коефіцієнтів регулятора, а також продемонстрували підвищення якості скоректованої системи, отриманої у такий спосіб.

### Список літератури

1. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления / Б. Куо. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.

Надійшла до редколегії 25.11.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.О. Качанов, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

### СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПnД-РЕГУЛЯТОРАМИ

Н.Б. Репникова, В.Ю. Федулова, Т.Я. Богодєрова

Предложена новая формула расчета коэффициентов ПnД-регуляторов, которые обеспечивают высокое качество синтезированной цифровой системы управления.

**Ключевые слова:** синтезированные цифровые системы управления, ПnД-регуляторы.

### SYNTHESIS OF DIGITAL CONTROL SYSTEMS WITH PnD-REGULATORS

N.B. Repnikova, V.Yu. Fedulova, T.Ya. Bogoderova

The new formula of calculation of coefficients of PnD-regulators which provide high quality of the synthesized digital control system is offered.

**Keywords:** the digital control systems, PnD-regulators, are synthesized.