УДК 681.32

ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРУЮЧИЙ НА ІНТЕРВАЛІ РЕГУЛЯТОР

Микола Луцків, Володимир Паньків

Розглядається задача синтезу регулятора для систем з великим періодом дискретності, близьким до сталих часу об'єкта. Наприклад, системи, в яких контроль регульованої величини здійснюється періодично з циклом роботи машини, тому період дискретності не може бути параметром налагодження регулятора.

Пропонується новий, більш ефективний пропорційно-інтегруючий регулятор, який формує управління на інтервалі дискретності, названий пропорційно-інтегруючим на інтервалі регулятором. Структурна схема регулятора приведена на рис.1.

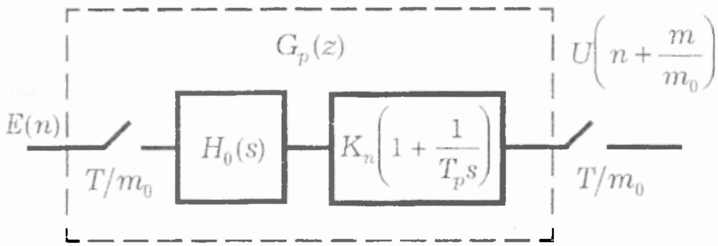

Рис.1. Пропоційно-інтегруючий на інтервалі регулятор

Дискретний сигнал похибки регулювання $E(n)$ поступає на вхід імпульсного елемента регулятора, який працює синхронно з імпульсним елементом системи, але з частотою в m_0 раз більше, ніж імпульсний елемент системи. Сигнал фіксується фіксатором нульового порядку з передаточною функцією

$$H_0(s) = \frac{1 - e^{-T_m s}}{s}, \tag{1}$$

де T_m — період квантування регулятора.

Період квантування регулятора є кратний періоду дискретності системи і дорівнює T/m_0, де T — період дискретності системи (сигнала похибки), m_0 — кратність періоду, ціле додатне число.Регулятор формує управління $U(n+m/m_0)$, яке подається на виконавчий механізм об'єкта регулювання.

Приймемо передаточну функцію неперервного регулятора.

$$W_p(s) = K_n\left(1 + \frac{1}{T_p s}\right), \tag{2}$$

де K_n, T_p — коефіцієнт передачі і стала часу неперервного регулятора

Проведемо аналіз регулятора за допомогою методу z-перетворення [1,2]. Запишемо дискретну передаточну функцію регулятора

$$G_p(z) = \frac{z-1}{z} z\left\{\frac{W_p(s)}{s}\right\}. \tag{3}$$

Після підстановки (2) у (3) одержимо

$$G_p(s) = \frac{z-1}{z} z\left\{\frac{K_n}{s} + \frac{K_n}{T_p s^2}\right\}. \tag{4}$$

Скориставшись таблицями z - перетворення [1], матимемо

$$G_p(z) = \frac{z-1}{z}\left[\frac{K_n z}{z-1} + \frac{K_n \frac{T}{T_p} z}{(z-1)^2}\right]. \tag{5}$$

Після перетворень

$$G_p(z) = K_r\left[1 + \frac{\frac{T}{T_p}}{z-1}\right]. \tag{6}$$

Поділивши чисельник і знаменник на z^{-1},одержимо дискретну передаточну функцію у такому вигляді

$$G_p = \frac{K_n\left[1+\left(\frac{T}{T_p}-1\right)z^{-1}\right]}{1-z^{-1}}. \qquad (7)$$

Враховуємо кратність періоду квантування сигнала похибки, скориставшись z - перетворення з кратним періодом квантування [1] з (7), запишемо дискретну передаточну функцію пропорційно-інтегруючого на інтервалі регулятора.

$$G_p(z, m_0) = \sum_{m=0}^{m_0=1} G_p(z) \left| \begin{array}{l} z = z^{m/m_0} \\ T = T\dfrac{m}{m_0} \end{array} \right. . \qquad (8)$$

Після підстановки (7) в (8) одержимо

$$G_p(z, m_0) = \sum_{m=0}^{m_0=1} \frac{K_n\left[1+\left(\frac{T}{T_p}-1\right)z^{-m/m_0}\right]}{1-z^{-m/m_0}}. \qquad (9)$$

За (9) запишемо сигнал управління, який формує пропорційно-інтегруючий на інтервалі регулятор

$$U(z, m_0) = \sum_{m=0}^{m_0=1} \frac{K_n\left[1+\left(\frac{T}{T_p}-1\right)z^{-m/m_0}\right]}{1-z^{-m/m_0}} E(z, m_0). \qquad (10)$$

Таким чином, одержимо управління, яке формує пропорційно-інтегруючий на інтервалі дискретності регулятор за сигналом похибки системи.

Підкреслимо, що кратність m_0 періоду квантування є одним із параметрів налагодження регулятора. Розглянемо як впливає кратність на дискретну передаточну функцію пропорційно-інтегруючого на інтервалі регулятора.

При кратності $m_0 = 1$ імпульсний елемент регулятора працює синхронно з однаковою частотою з імпульсним елементом системи. У цьому випадку дискретна передаточна функція пропорційно-інтегруючого на інтервалі регулятора матиме вигляд

$$G_p(z) = \frac{K_n\left[1 + \left(\frac{T}{T_p} - 1\right)z^{-1}\right]}{1 - z^{-1}}. \qquad (11)$$

Таким чином, пропорційно- інтегруючий на інтервалі регулятор є частковим випадком звичайного [2] дискретного пропорційно-інтегруючого регулятора при його кратності $m_0 = 1$.

При кратності $m_0 = 2$ із (9) запишемо

$$G_p(z,2) = \sum_{m=0}^{1} \frac{K_n\left[1 + \left(\frac{T}{T_p} - 1\right)z^{-m/2}\right]}{1 - z^{-m/2}}. \qquad (12)$$

Розкривши суму, одержимо

$$G_p(z,2) = \frac{K_n\left[\frac{T}{T_p} + \left(\frac{T}{T_p} - 1\right)z^{-1/2}\right]}{1 - z^{-1/2}}. \qquad (13)$$

Оператор $z^{-1/2}$ можна розглядати як зміщення управління на пів періоду дискретності системи. Це значить, що при кратності $m_0 = 2$ пропорційно-інтегруючий на інтервалі регулятор формує два інтервали управління.

При кратності $m_0 = 3$ із (9) запишемо

$$G_p(z,3) = \sum_{m=0}^{2} \frac{K_n\left[1 + \left(\frac{T}{T_p} - 1\right)z^{-m/3}\right]}{1 - z^{-m/3}}. \qquad (14)$$

Розклавши суму, одержимо

$$G_p(z,3) = \frac{K_n\left[\frac{T}{T_p} + \left(\frac{T}{T_p} - 1\right)z^{-1/3} + z^{-2/3}\right]}{\left(1 - z^{-1/3}\right)z^{-1/3}}. \qquad (15)$$

Таким чином, при кратності m_0 =3 пропорційно-інтегруючий на інтервалі регулятор формує три інтервали управління на інтервалі дискретності системи.

Аналогічно можна записати дискретну передаточну функцію пропорційно-інтегруючого регулятора для кратності m_0 =4

$$G_p(z,4) = -\frac{K_r\left[\frac{T}{T_p} + \left(\frac{T}{T_p} - 1\right)z^{-1/4} + z^{-2/4} + z^{-3/4}\right]}{z^{-1/4} + z^{-2/4} + z^{-3/4}}. \qquad (16)$$

Виходячи з простоти технічної реалізації регулятора вибирають кратність m_0 =4 або 8.

На рис.2 приведені перехідні характеристики пропорційно-інтегруючого на інтервалі регулятора при дії на вході постійного сигналу похибки, які суттєво відрізняються від перехідних характеристик звичайних дискретних пропорційно-інтегруючих регуляторів. Інтегрування здійснюється на інтервалі дискретності.

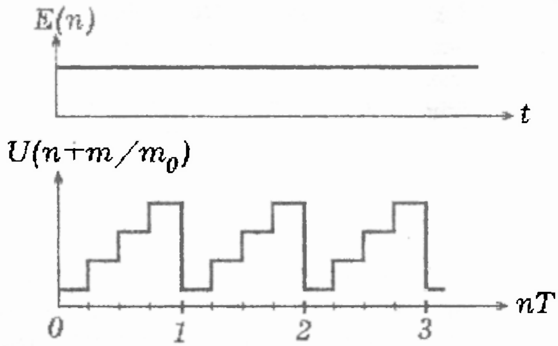

Рис. 2 перехідні характеристики регулятора

Можливі два основні способи реалізації пропорційно-інтегруючого на інтервалі регулятора: апаратний і програмний.

Програмна реалізація зводиться до складання програми для ЕОМ у відповідності до передаточної функції (9).

Апаратна реалізація зводиться до побудови дискретного пристрою який би формував управління (10).

Для прикладу на рис.3 приведені результати цифрового моделювання на ЕОМ системи з пропорційно-інтегруючим на інтервалі регулятором з інерційним об'єктом першого порядку з коефіцієнтом передачі 10 і сталою часу об'єкта рівній періоду дискретності системи. Одержані графіки перехідних характеристик системи є близькими до оптимальних. Система є мало чутливою до варіації сталої часу об'єкта.

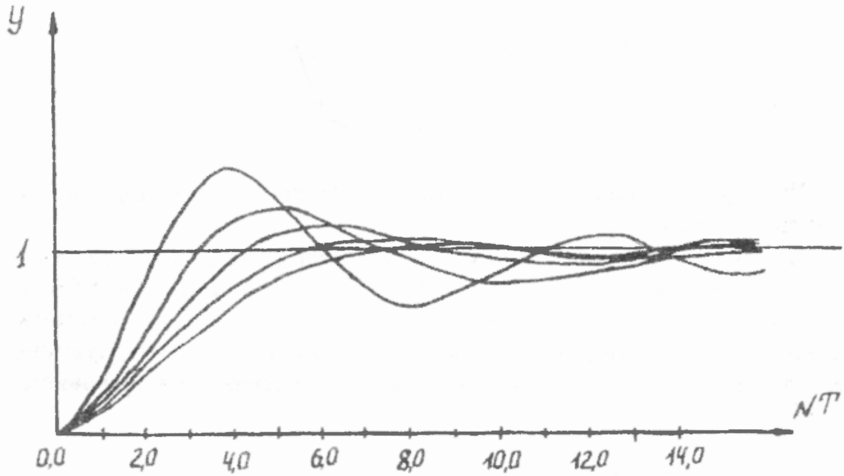

Рис.3 Перехідні характеристики системи

За результатами цифрового моделювання на ЕОМ робимо висновок, що пропорційно-інтегруючий на інтервалі регулятор є ефективним для регулювання систем з великим періодом дискретності.

Література

1. *Куо Б.* Теория и проектирование цифровых систем управления. - М.;Машиностроение, 1986, - 448 с.

2. *Стеклов В.К.* Проектирование систем автоматического регулирования.К.:Вища школа. - 1995, - 356 с.