

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

**КОМП'ЮТЕРНІ МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЗАЦІЇ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання модульної контрольної роботи  
«Синтез цифрових регуляторів за методом Даліна»  
для студентів спеціальності  
„Автоматизоване управління технологічними процесами”

*Рекомендовано Вченою радою інженерно-хімічного факультету*

Київ  
НТУУ “КПІ”  
2013

Комп'ютерні методи проектування систем автоматизації: Методичні вказівки до виконання модульної контрольної роботи «Синтез цифрових регуляторів за методом Даліна» для студ. спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами» / Уклад.: М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 19 с.

*Гриф надано Вченою радою ІХФ  
(Протокол № 1 від 28.01.2013 р.)*

Навчальне видання

КОМП'ЮТЕРНІ МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЗАЦІЇ

Методичні вказівки до виконання модульної контрольної роботи  
«Синтез цифрових регуляторів за методом Даліна» для студентів  
спеціальності  
„Автоматизоване управління технологічними процесами”

Укладачі: Кваско Михайло Зіновійович, к.т.н., проф.  
Жураковський Ярослав Юрійович, ст. викл.

Відповідальний  
редактор А.І. Жученко, д.т.н., проф.

Рецензент Жулинський О.А., к.т.н.

Авторська редакція

## ЗМІСТ

Загальні теоретичні положення	4
1. Синтез цифрових регуляторів по методу Далина	4
2. Умови забезпечення якості регулювання в системах з використанням регулятора Далина	9
3. Перетворення імпульсних передатних функцій в програмні	13
Завдання до контрольної роботи	17
Приклад 1. Аперіодичний об'єкт першого порядку з запізненням	18
Приклад 2. Аперіодичний об'єкт другого порядку з запізненням	19
Література	20

## Загальні теоретичні положення

В практиці реалізації цифрових регуляторів застосовують стандартні алгоритми, які еквівалентні неперервним регуляторам. Можна проектувати алгоритми таких регуляторів, які забезпечують заданий перехідний процес в замкнутій системі регулювання.

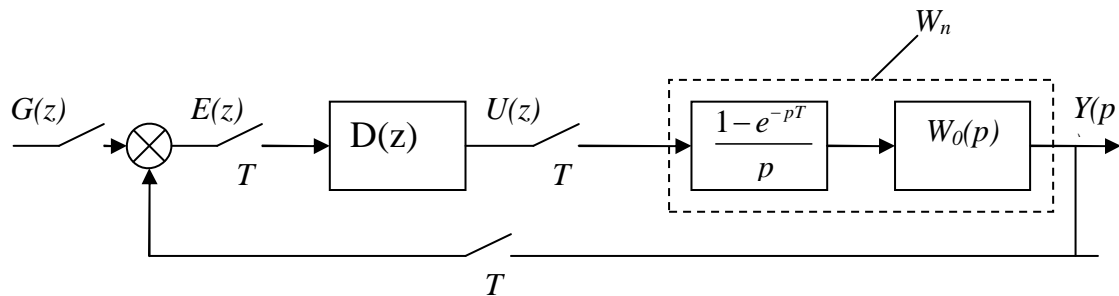


Рис. 1 – Структурна схема цифрової системи регулювання

Імпульсна передатна функція  $D(z)$  знаходиться по такій формулі:

$$\Phi(z) = \frac{D(z) W_n(z)}{1 + D(z) W_n(z)},$$

де  $W_n(z)$  – приведена неперервна частина;  $\Phi(z)$  – передаточна функція замкненої системи в формі  $z$  – перетворення.

### 1. Синтез цифрових регуляторів по методу Далина

Для знаходження  $\Phi(z)$  задаємося перехідним процесом в замкненій цифровій системі керування в вигляді аперіодичної ланки першого порядку з запізненням:

$$\Phi(p) = \frac{Y(p)}{q(p)} = \frac{e^{-p\tau}}{T_3 p + 1}, \quad (1.1)$$

де  $T_3$  стала часу замкненої системи;  $\tau$  — запізнення, що дорівнює запізненню об'єкта в каналі керування.

Як видно, коефіцієнт передачі дорівнює одиниці. Це пояснюється тим, що розглянутий канал "завдання – вихід"  $q(p) - y(p)$ , в котрому дотримується умова: на скільки одиниць збільшили завдання, на стільки ж збільшиться і вихідна величина.

Перетворимо в Z-форму:

$$Z\{e^{-p\tau}\} = Z\left\{e^{-p\frac{\tau}{T}}\right\} = Z\{e^{-pTK}\},$$

де  $K = \tau / T$ ,  $KT < \tau \leq (K + 1)T$ .

Знайдемо z-перетворення для виразу  $1 / (T_3 P + 1)$ .

Введемо позначення:  $d = 1 / T_3$ ;  $a_3 = e^{-dT}$ . Тоді z-перетворення від (1.1) має наступний вигляд:

$$\Phi(z) = \frac{1 - a_3}{z - a_3} z^{-K} = \frac{1 - a_3}{1 - a_3 z^{-1}} z^{-(k+1)} \quad (1.2)$$

$$D(z) = [W_p(z)]^{-1} \frac{(1 - a_3)z^{-(k+1)}}{1 - a_3 z^{-1} - (1 - a_3)z^{-(k+1)}} \quad (1.3)$$

Вираз (1.3) представляє в загальному вигляді імпульсну передатну функцію регулятора Даліна. Маючи (1.4), розглянемо об'єкти керування в вигляді наступних передатних функцій.

1. Об'єкт керування має передатну функцію

$$W_{ob}(P) = \frac{K_{ob} e^{-P\tau}}{T_{ob} P + 1}. \quad (1.4)$$

Знайдемо z-перетворення  $W_p(P)$  з врахуванням (1.4):

$$W_p(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{W_{ob}(P)}{P} \right\}. \quad (1.5)$$

Другий співмножник в (1.5) розкладемо на прості дроби:

$$Z \left\{ \frac{W_{ob}(P)}{P} \right\} = Z \left\{ \frac{K_{ob} e^{-P\tau}}{P(T_{ob} P + 1)} \right\} = Z \left\{ \frac{K_{ob} e^{-P\tau}}{P} - \frac{K_{ob} T_{ob} e^{-P\tau}}{T_{ob} P + 1} \right\} = Z \left\{ \frac{K_{ob} e^{-P\tau}}{P} - \frac{K_{ob} e^{-P\tau}}{P + \frac{1}{T_{ob}}} \right\}$$

У відповідності до таблиці модифікованих z-перетворень:

$$Z \left\{ \frac{W_{ob}(P)}{P} \right\} = \frac{K_{ob} (C_1 + C_2 z^{-1}) z^{-(k+1)}}{1 - e^{-T/T_{ob}} z^{-1}}$$

С врахуванням (1.5)

$$W_p(z) = \frac{K_{ob} (C_1 + C_2 z^{-1}) z^{-(k+1)}}{1 - e^{-T/T_{ob}} z^{-1}} \quad (1.6)$$

$$\text{Де } C_1 = 1 - e^{-\alpha T/T_{ob}}; C_2 = e^{-\alpha T/T_{ob}} - e^{-T/T_{ob}}; a = 1 - \frac{\tau - kT}{T}; a_p = e^{-T/T_{ob}}.$$

Підставивши (1.6) в (1.3), отримаємо імпульсну функцію регулятора

Даліна:

$$D(z) = \frac{(1 - a_3)(1 - a_3 z^{-1})}{K_{ob} [1 - a_3 z^{-1} - (1 - a_3) z^{-(k+1)}] (C_1 + C_2 z^{-1})}. \quad (1.7)$$

2. Об'єкт керування має передатну функцію

$$W_{ob}(P) = \frac{K_{ob}e^{-P\tau}}{(T_1P+1)(T_2P+1)}. \quad (1.8)$$

Знайдемо z-перетворення приведеної неперервної частини:

$$Wp(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{K_{ob}e^{-P\tau}}{P(T_1P+1)(T_2P+1)} \right\}. \quad (1.9)$$

Розкладемо на прості дроби вираз в фігурних дужках в (1.9)

$$\begin{aligned} & Z \left\{ \frac{K_{ob}e^{-P\tau}}{P(T_1P+1)(T_2P+1)} \right\} = \\ & = Z \left\{ \frac{K_{ob}e^{-P\tau}}{P} - \frac{K_{ob}T_1e^{-P\tau}}{(T_1-T_2)(P+\frac{1}{T})} + \frac{K_{ob}T_2e^{-P\tau}}{(T_1-T_2)(P+\frac{1}{T})} \right\} \end{aligned} \quad (1.10)$$

У відповідності до табл.

$$\begin{aligned} Z \left\{ \frac{K_{ob}e^{-P\tau}}{P(T_1P+1)(T_2P+1)} \right\} &= \frac{K_{ob}e^{-K}}{z-1} - \frac{K_{ob}e^{-[T/T_1-(k+1)T/T_1]}z^{-(k+1)}}{(T_1-T_2)(1-e^{-T/T_1}z^{-1})} + \\ &+ \frac{K_{ob}e^{-[T/T_2-(k+1)T/T_2]}z^{-(k+1)}}{(T_1-T_2)(1-e^{-T/T_2}z^{-1})} \end{aligned} \quad (1.11)$$

Після перетворень виразів (1.11) і з врахуванням (1.9) маємо

$$Wp(z) = \frac{K_{ob}(C_3 + C_4z^{-1})z^{-(k+1)}}{(1-e^{-T/T_1}z^{-1})(1-e^{-T/T_2}z^{-1})}. \quad (1.12)$$

Вводимо позначення:

$$\begin{aligned} C_3 &= 1 + \frac{T_1a_{p1} - Ta_{p2}}{T_2 - T_1}; \quad C_4 = e^{-T/T_1 - T/T_2} + \frac{T_1a_{p1} - T_2a_{p2}}{T_2 - T_1}. \\ a_{p1} &= e^{-T/T_1}; \quad a_{p2} = e^{-T/T_2}. \end{aligned}$$

Виходячи з цього отримуємо імпульсну передатну функцію регулятора Даліна:

$$D(z) = \frac{(1-a_3)(1-a_{p1}z^{-1})(1-a_{p2}z^{-1})}{K_{ob} \left[ 1 - a_3z^{-1} - (1-a_3)z^{-(k+1)} \right] (C_3 + C_4z^{-1})}. \quad (1.13)$$

3. Приводимо імпульсні передатні функції ПНЧ для об'єктів з такими передатними функціями:

$$Wob(p) = \frac{Kob}{T_1p + 1} \quad (1.14)$$

$$Wob(p) = \frac{Kob}{(T_1p + 1)(T_2p + 1)} \quad (1.15)$$

Для виразу (1.12), використовуючи таблицю отримуємо:

$$\begin{aligned} Wp(z) &= \frac{z-1}{z} z \left\{ \frac{Kob}{p(T_1p + 1)} \right\} = \frac{z-1}{z} z \left\{ \frac{Kob}{p} - \frac{KobT_1}{T_1p + 1} \right\} = \\ &= \frac{z-1}{z} \left[ \frac{Kobz}{z-1} - \frac{Kobz}{z - e^{-T/T_1}} \right] = \frac{Kob(1-a_{p1})z^{-1}}{1-a_{p1}z^{-1}} \end{aligned} \quad (1.16)$$

Для виразу (1.13)

$$Wp(z) = \frac{z-1}{z} \left[ \frac{z}{z-1} - \frac{a_1z}{T_1(z-a_{p1})} + \frac{b_1z}{T_2(z-a_{p2})} \right] Kob, \quad (1.17)$$

$$\text{Де } a_1 = \frac{T_1^2}{T_1 - T_2}; \quad b_1 = \frac{T_2^2}{T_1 - T_2}$$

Маючи  $Wp(z)$ , з урахуванням виразу можна легко отримати  $D(z)$  для розглянутих випадків, представлених виразами (1.14) та (1.15).

4. При необхідності фільтрації вхідної змінної в коло зворотного зв'язку включають експоненціальний фільтр з передатною функцією:



$$W\phi(p) = \frac{1}{T\phi p + 1} \quad (1.18)$$

Де  $T\phi$  – стала часу фільтра.

Передатна функція  $Wp(p)$  буде мати вид:

$$Wp(p) = \frac{1 - e^{-pT}}{p} Wob(p) \frac{1}{T\phi p + 1} \quad (1.19)$$

Якщо  $Wob(p)$  є аперіодичною ланкою першого порядку з запізненням, а передатна функція замкненої системи описується виразом (1.1), то

$$D(z) = \frac{(1 - a_3)(1 - a_{p1}z^{-1})(1 - a_{p2}z^{-1})}{Kob(1 - a_{p2}) \left[ (1 - a_3z^{-1})(1 - a_{p1}z^{-1}) - \frac{1 - a_3}{1 - a_{p2}} (\alpha + \beta z - 1)^{-(k+1)} \right]} \quad (1.20)$$

$$\text{де } a_{p1} = e^{-T/T\phi}; \quad a_{p2} = e^{-T/Tob}; \quad \alpha = 1 - \frac{a_{p1}T\phi - a_{p2}Tob}{T\phi - Tob};$$

$$\beta = a_{p1}a_{p2} - \frac{a_{p2}T\phi - a_{p1}Tob}{T\phi - Tob}.$$

Програми розрахунку регуляторів по методу Даліна в середовищі MathCad наведені в прикладах 1 та 2.

## **2. Умови забезпечення якості регулювання в системах з використанням регулятора Даліна**

Як показали експериментальні досліди, при наявності в характеристичному рівнянні коренів, що лежить в колі  $z = -1$ , в керувальному діянні  $U(t)$  будуть мати місце затухаючі коливання, які

небажані для виконавчого пристрою (рис. 2.1). ця особливість регулятора Даліна називається коливністю.

В системах управління, де використовується регулятор Даліна, коливність може з'явитися за рахунок любого із множників знаменника в виразах (1.8), (1.13), (1.20).

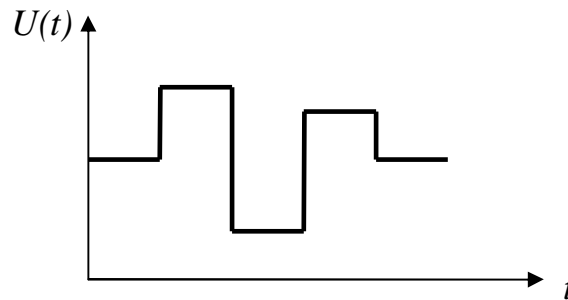


Рис. 2.1. Коливання в керувальному сигналі

1. Об'єкт керування – аперіодична ланка першого порядку з запізненням.

Розглянемо знаменник виразу (1.7)

$$\text{Kob} \left[ 1 - a_3 z^{-1} - (1 - a_3) z^{-1(k+1)} \right] (c_2 z^{-1} + C_1) \quad (2.1)$$

Коефіцієнт  $c_2 z^{-1} + C_1$  має полюс  $z_1 = -C_2 / C_1$ , інший співмножник може бути представлений так:

$$\begin{aligned} & 1 - a_3 z^{-1} - (1 - a_3) z^{-(k+1)} = \\ & = (1 - z^{-1}) \left[ 1 + (1 - a_3) z^{-1} + (1 - a_3) z^{-2} + \dots + (1 - a_3) z^{-k} \right]. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Якщо припустити, що в цьому виразі є корені  $z_1 = -1$ , котрі приводять до коливання, то для усунення їх дії замість  $z$  поставимо  $z = 1$  (крім співмножника  $(1 - z^{-1})$ ). Оскільки корені і коефіцієнти полінома зв'язані

між собою, ви як би «перегнали» небажані корені в коефіцієнти.

Розглянемо (2.2) при  $K = 2$ , тобто  $\tau / T = 2$  :

$$1 - a_3 z^{-1} - (1 - a_3) z^{-3} = (1 - z^{-1}) [1 + (1 - a_3) z^{-1} + (1 - a_3) z^{-2}] \quad (2.3)$$

Звідси

$$z_{2,3} = -\frac{(1 - a_3)}{2} \pm i \sqrt{\frac{4(1 - a_3) - (1 - a_3)^2}{4}} \quad (2.4)$$

За абсолютною величиною із (2.4) ці корені

$$|z| = \sqrt{1 - a_3} = \sqrt{1 - e^{-T/T_3}} \quad (2.5)$$

В (2.3) один корінь  $z = 1$ , а дві інших визначаються із (2.4)

Для стійкої системи необхідно, щоб визначні із (2.5) корені  $|z| = 1$ , що можливо при  $e^{-T/T_3} \rightarrow 0$ . В цьому випадку  $z_2 = 1$ ;

$z_3 = -1$ , тобто корінь  $z_3 = -1$  дає коливність, прибрати яку можна, підставивши в вираз (2.3)  $z = 1$  (крім  $(1 - Z^{-1})$ ), тобто «загрубити» систему. В цьому випадку отримуємо скореговану імпульсну передатну функцію цифрового регулятора Даліна, в якому коливання в  $D(z)$  не буде. Вираз (1.7) при довільному  $K = \tau / T$  тепер потрібно записати так:

$$D(z) = \frac{(1 - a_3)(1 - a_3 z^{-1})}{Kob(C_1 + C_2)[1 + K(1 + a_3)](1 - z^{-1})} \quad (2.6)$$

Наведемо вираз (2.6) при  $K = \tau / T = 2$  до дискретного аналогу неперервного регулятора. Відомо, що дискретний аналог ПІ-регулятора має імпульсну передатну функцію.

$$D(z) = Kp \left[ 1 + \frac{T}{Tu(1 - z^{-1})} \right] \quad (2.7)$$

Перетворимо (2.6) до виду (2.7)

$$\begin{aligned}
 D(z) &= \frac{1-a_3}{Kob(C_1+C_2)(3-2a_3)} \frac{a_3(\frac{1}{a_3} - z^{-1} + 1 - 1)}{1-z^{-1}} = \\
 &= \frac{1-a_3}{Kob(C_1+C_2)(3-2a_3)} \frac{a_3 \left[ \left(\frac{1}{a_3} - 1\right) + (1 - z^{-1}) \right]}{1-z^{-1}} = \\
 &= \frac{(1-a_3)a_3}{Kob(C_1+C_2)(3-2a_3)} \left[ 1 + \frac{\left(\frac{1}{a_3} - 1\right)}{1-z^{-1}} \right] \tag{2.8}
 \end{aligned}$$

Звідси маємо параметри настройки дискретного ПІ-регулятора при  $K = 2$ :

$$Kp_{opt} = \frac{a_3(1-a_3)}{Kob(C_1+C_2)(3-2a_3)}; \quad Tu = \frac{T}{(1/a_3 - 1)}.$$

Для довільного цілого  $K$  коефіцієнти

$$Kp_{opt} = \frac{1 - e^{-T/T_3}}{Kob(C_1+C_2) \left[ 1 + K(1 - e^{T/T_3}) \right]};$$

$$Ku_{opt} = \frac{T}{e^{T/Tob} - 1}$$

При таких параметрах настройки ЦР керувальне діяння при зміні динамічного режиму об'єкта керування виконує монотонний ступінчатий перехідний процес (Рис. 2.2)

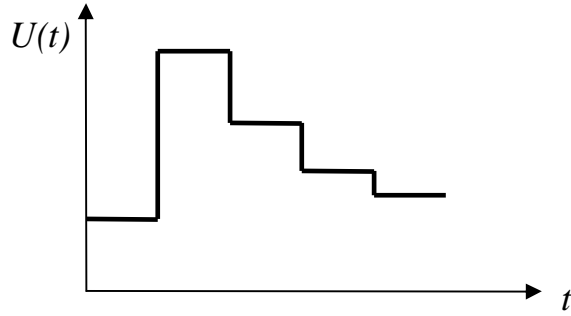


Рис. 2.2. Перехідний процес оптимальних  $Kp$  і  $Tu$

2. Об'єкт керування – аперіодична ланка другого порядку з запізненням.

Розглянемо знаменник виразу (1.12) як характеристичне управління:

$$\text{Kob} \left[ 1 - a_3 z^{-1} - (1 - a_3) z^{-(k+1)} \right] (C_3 + C_4 z^{-1}) = 0 \quad (2.9)$$

Співмножник  $C_3 + C_4 z^{-1} = 0$  дає корінь  $z_1 = -C_4 / C_3$ , а другий співмножник представимо так, як показано в формулі (2.2), або для окремого випадку, коли  $\tau = T$ , тобто  $K = 1$ .

$$1 - a_3 z^{-1} - (1 - a_3) z^{-2} = (1 - z^{-1}) \left[ 1 + (1 - a_3) z^{-1} \right].$$

Тут маємо ще два корені:

$$z_2 = 1; \quad z_3 = -(1 - a_3) = -(1 - e^{-T/T_3}).$$

В усталеному перехідному процесі при  $t \rightarrow \infty$  треба, щоб  $e^{-T/T_3} \rightarrow 0$ . Це призводить до того, що  $Z = -1$ , а це дає коливність в системі. Щоб позбавитись від неї, в співмножник в квадратних дужках замість  $z$  підставимо значення  $z = 1$ . В окремому випадку при  $K = 1$  імпульсна передатна функція регулятора Даліна має вигляд:

$$D(z) = \frac{(1 - a_3)(1 - a_{p1} z^{-1})(1 - a_{p2} z^{-1})}{\text{Kob}(C_3 + C_4)(2 - a_3)(1 - z^{-1})} \quad (2.10)$$

В загальному випадку, тобто при довільному цілому  $K$ .

$$D(z) = \frac{(1 - a_3)(1 - a_{p1}z^{-1})(1 - a_{p2}z^{-1})}{Kob(C_3 + C_4)[1 + K(1 - a_3)](1 - z^{-1})} \quad (2.11)$$

Зводимо цей вираз до такого виду (з урахуванням підстановки  $a_3, a_{p1}, a_{p2}, C_3, C_4$ ):

$$D(z) = \frac{(e^{T/T_1} + e^{T/T_2} - 2)(1 - e^{T/T_3})}{Kob(e^{T/T_1} - 1)(e^{T/T_2} - 1)[1 + K(1 - e^{-T/T_2})]} \times \\ \times \left[ 1 + \frac{(1 - e^{T/T_1})(1 - e^{T/T_2})}{(e^{T/T_2} + e^{T/T_2} - 2)(1 - z^{-1})} + \frac{1 - z^{-1}}{e^{T/T_1} + e^{T/T_2} - 2} \right] \quad (2.12)$$

В загальноприйнятому виді імпульсна передатна функція дискретного ПД-регулятора в  $z$ -формі записується так:

$$D(z) = Kp \left[ 1 + \frac{T}{Tu(1 - z^{-1})} + \frac{Tg}{T}(1 - z^{-1}) \right]. \quad (2.13)$$

Порівнюючи (2.12) та (2.13), знаходимо оптимальні параметри настройки ПД-регулятора:

$$Kp_{opt} = \frac{(e^{T/T_1} + e^{T/T_2} - 2)(1 - e^{-T/T_3})}{Kob(e^{T/T_1} - 1)(e^{T/T_2} - 1)[1 + K(1 - e^{-T/T_3})]}; \\ Tu_{opt} = \frac{T(e^{T/T_1} + e^{T/T_2} - 2)}{(1 - e^{T/T_1})(1 - e^{T/T_2})}; Tg_{opt} = \frac{T}{e^{T/T_1} + e^{T/T_2} - 2}.$$

Тепер, якщо  $T \rightarrow 0$ , то дискретні регулятори перетворюються в неперервні і можна визначити параметри налаштувань неперервних П- та ПД-регуляторів:

а) для ПД-регулятора

$$Kp_{opt} = \frac{T_1 / T_3}{Kob(1 + \tau / T_3)}; Tu_{opt} = T_1;$$

б) для ПД-регулятора

$$Kp_{opt} = \frac{T_1 / T_2 + T_2}{Kob(1 + \tau / T_3)}; Tu_{opt} = T_1 + T_2 \cdot Tg_{opt} = \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2}.$$

Таким чином, отримані значення параметрів настройки регуляторів, котрі залежать від динамічних властивостей об'єкта, а значення  $Kp_{opt}$ , ще й від сталої часу замкненої системи  $T_3$ .

### 3. Перетворення імпульсних передатних функцій в програмні.

Запишемо вираз (2.6) в вигляді

$$\frac{U(z)}{G(z) - Y(z)} = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{(1 - a_3)(1 - a_3 z^{-1})}{Kob(C_1 + C_2)(3 - 2a_3)(1 - z^{-1})} \quad (3.1)$$

Позначимо  $1 - a_3 = A$ ;  $Kob(C_1 + C_2)(3 - 2a_3) = B$  і отримаємо

$$U(z)B(1 - z^{-1}) = E(z)(1 - a_3 z^{-1})A;$$

$$U(z) = U(z)z^{-1} + \frac{A}{B}E(z) - \frac{A - a_3}{B}E(z)z^{-1}.$$

Звідси програмуюча функція регулятора НЦУ

$$U[nT] = U[(n-1)T] + ME[nT] + NE[(n-1)T],$$

$$M = A / B; N = -\frac{Aa_3}{B} \quad (3.2)$$

Аналогічно можна отримати програмуючу функцію із виразу (2.10)

## Завдання до контрольної роботи

Розрахувати імпульсну передатну функцію і програмуючу функцію для дискретного регулятора Даліна для об'єкту заданого передатною функцією

$$W_{об}(p) = \frac{K_{об}e^{-p\tau}}{T_{об}p+1}$$

при передатній функції замкненої системи

$$W_з(p) = \frac{e^{-p\tau}}{T_зp+1}$$

Таблиця 1 – Вихідні дані до завдання

Варіант*	K <sub>об</sub>	T <sub>об, с</sub>	T <sub>з, с</sub>	τ, с	Варіант*	K <sub>об</sub>	T <sub>об, с</sub>	T <sub>з, с</sub>	τ, с
1	0,63	7	5	4	19	0,5	2	1	0,5
2	5,78	10	7	2	20	1,68	2	0,4	3
3	0,92	6	5	4	21	0,84	3	2	2
4	0,54	10	4	0	22	0,71	1	4	2
5	0,65	5	3	1	23	0,68	0,8	0,6	0,1
6	2,8	6	4	2	24	2,78	2	0,5	1
7	0,77	0,5	0,2	0,1	25	0,92	2	0,4	1
8	0,82	0,3	0,1	0,1	26	0,54	5	1	1
9	0,67	1	0,6	0,1	27	0,65	1	0,4	0,1
10	1,58	3	1	2	28	3,8	3	2	1
11	0,94	5	2	0,5	29	0,77	10	7	2
12	0,65	1	0,5	0,2	30	0,68	30	0,6	0
13	5,8	5	4	2	31	1,78	8	0,7	1
14	1,77	3	2	1	32	0,92	4	1,5	3
15	4,82	11	5	3	33	0,54	3	0,9	2
16	2,67	0,6	0,4	0,2	34	1,65	15	5,5	1
17	3,58	3	1	2	35	3,8	9	4	0,1
18	3,94	2,7	1	0,5	36	0,77	50	20	5

\* Номер варіанту відповідає номеру у відомості.



Приклад 1.

Аперіодичний об'єкт першого порядку з запізненням

Розрахунок цифрових регуляторів методом DAHLIN ALGORITHM

Передатна функція об'єкта керування має вигляд

$$W_{ob}(P) = \frac{K_{ob} \cdot e^{-P \cdot \tau}}{T_{ob} \cdot P + 1}$$

Передатна функція замкнутої системи по каналу «Завдання вихід»

$$W_3(P) = \frac{e^{-P \cdot \tau}}{T_3 + 1}$$

Для розрахунку цифрового регулятора введіть значення:

Коефіцієнт передачі об'єкта -  $K_{ob} := 1$

Стала часу об'єкта -  $T_{ob} := 1$

Час транспортного запізнення -  $TAY := 10$

Стала часу по каналу «завдання вихід» -  $T_3 := 1$

Період дискретизації -  $T := 1$

$$K := \text{floor}\left(\frac{TAY}{T + 0.5}\right)$$

$$T_i := \frac{T}{e^{\frac{T}{T_{ob}}} - 1}$$

$$K_r := \frac{1 - e^{-\frac{T}{T_3}}}{K_{ob} \cdot \left(e^{\frac{T}{T_{ob}}} - 1\right) \cdot \left[1 + K \cdot \left(1 - e^{-\frac{T}{T_3}}\right)\right]}$$

Значення налаштувань цифрового регулятора:

$$K_r = 0.077 \quad T_i = 0.582$$

Приклад 2.

Аперіодичний об'єкт другого порядку з запізненням

Розрахунок цифрових регуляторів методом DAHLIN ALGORITHM

Передатна функція об'єкта керування має вигляд

$$Wob(P) = \frac{Kob \cdot e^{-P \cdot \tau}}{(T1 \cdot P + 1) \cdot (T2 \cdot P + 1)}$$

Передатна функція замкнутої системи по каналу «Завдання вихід»

$$W3(P) = \frac{e^{-P \cdot \tau}}{T3 + 1}$$

Для розрахунку цифрового регулятора введіть значення:

Коефіцієнт передачі об'єкта -  $Kob := 1$

Сталі часу об'єкта -  $T1 := 1$   $T2 := 1$

Час транспортного запізнення -  $TAY := 10$

Стала часу по каналу «завдання вихід» -  $T3 := 1.6$

Період дискретизації -  $T := 1$

$$K := \text{floor}\left(\frac{TAY}{T + 0.5}\right)$$

$$Kr := Kob \cdot \left(e^{\frac{T}{T1}} - 1\right) \cdot \left(e^{\frac{T}{T2}} - 1\right) \cdot \left[1 + K \cdot \left(1 - e^{-\frac{T}{T3}}\right)\right]$$

$$Kr := \frac{\left(e^{\frac{T}{T1}} + e^{\frac{T}{T2}} - 2\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{T}{T3}}\right)}{Kr}$$

$$Ti := \frac{T \cdot \left(e^{\frac{T}{T1}} + e^{\frac{T}{T2}} - 2\right)}{\left(1 - e^{-\frac{T}{T1}}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{T}{T2}}\right)}$$

$$Td := \frac{T}{\left(e^{\frac{T}{T1}} + e^{\frac{T}{T2}} - 2\right)}$$

Значення налаштувань цифрового регулятора:

$$Kr = 0.143 \quad Ti = 1.164 \quad Td = 0.291$$

## Література

1. Кваско М.З., Піргач М.С., Аверіна Т.А. Проектування і розрахунок дискретних автоматичних систем керування технологічними процесами [Текст]: навч. посіб. - К.: НМЦ ВО, 2000.-248с. – Бібліогр.: с. 240-243.-200 пр. – ISBN 966-622-001-6.
2. Кваско М.З. Проектування і дослідження дискретних систем автоматичного керування технологічними процесами [Текст]: навч. посіб. // М.З. Кваско, М.С. Піргач, Т.В. Аверіна. – К.: ІВЦ «Видавництво "Політехніка"», 2003.-360с. – Бібліогр.: с. 60-61; с.130; с. 192; с.237-238; с.263; с.307-309; с.339-340.-200 пр. – ISBN 966-622-116-0.
3. Кваско М.З. Математичне моделювання та ідентифікація одно- та багатовимірних систем [Текст]: навч. посіб. // М.З. Кваско, Л.Р. Ладієва, М.С. Піргач. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – 368с. Бібліогр.: с. 277-278. - 200 пр. – ISBN 966-622-211-6.
4. Бесекерский В.А. Системы автоматического управления с микро-ЭВМ. // В.А. Бесекерский, В.В. Израинцев – М.: Наука. Главн. ред. физ.- мат. лит., 1987. – 320 с.
5. Забашта Ю.П. Микропроцессорные системы управления.// Ю.П. Забашта, Б.Б. Самошкин – К.: УМК ВО, 1989. – 83 с.
6. Пиргач Н.С. Автоматическое регулирование и регуляторы в целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей и лесохимической промышленности // Н.С. Пиргач, В.С. Пиргач – М.: Лесная промышленность, 1983. –262 с.
7. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование – М.: Машиностроение, 1978. – 735 с.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.