УДК 681.5.03

С.С. Свістельник, ст. викл.
А.Г. Тютюнник, к.т.н., доц.
Житомирський державний технологічний університет

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ КЕРУВАННЯ АСТАТИЧНИМ ОБ'ЄКТОМ ТРЕТЬОГО ПОРЯДКУ

Розглянуто вибір регулятора та метод розрахунків його параметрів для керування астатичним об'єктом третього порядку з астатизмом першого порядку. Проведено аналіз якісних характеристик отриманої системи

Ключові слова: *астатичний об'єкт, регулятор, астатизм, автоматичне налаштування, ПІД-регулятор.*

Вступ. Постановка проблеми. Перед тим, як розраховувати параметри регулятора, необхідно сформулювати мету і критерії якості регулювання. Традиційно основні якісні показники формулюються, виходячи з вимог до реакції замкнутої системи на ступеневий вхідний сигнал. У загальному випадку вибір показників якості не може бути формалізований повністю і повинен здійснюватися, виходячи зі змісту задачі, що розв'язується.

Згідно з теорією автоматичного керування, структура регулятора обирається, виходячи з моделі об'єкта керування (ОК). При цьому більш складним ОК відповідають більш складні регулятори.

Аналіз досліджень та публікації. У переважній більшості в промисловості застосовуються ПІД-регулятори, однак їх структура не завжди може дати необхідну якість регулювання. Вперше методику розрахунку параметрів ПІД-регуляторів запропонували Зіглер і Нікольс у 1942 році [1]. Ця методика є простою і не дає необхідних результатів. Однак вона і до цього часу часто використовується на практиці. Останнім часом з'явилося багато більш точних методів [2, 3].

Після розрахунку параметрів регулятора потрібно також його ручне підстроювання для поліпшення якості регулювання. Для цього використовується ряд правил, добре обґрунтованих теоретично. Для налаштування ПІД-регуляторів можна використовувати і загальні алгебраїчні методи теорії автоматичного керування [4, 5]. У [6–9] опубліковано багато інших методів, які мають переваги при конкретному застосуванні.

Всі види автоматичної настройки являють три принципово важливі етапи: ідентифікація ОК, розрахунок параметрів регулятора, більш точна настройка регулятора. Часто кінцевий етап включає етап підстроювання (заключна оптимізація настройки). Оптимізація налаштування необхідна в зв'язку з тим, що методи розрахунку параметрів регулятора за традиційними формулами не враховують нелінійності ОК, зокрема, завжди присутню нелінійність типу «обмеження», а ідентифікація параметрів ОК виконується наближено.

Для одержання якісного регулювання, в тому числі після автоматичного налаштування ПІД-регулятора, необхідна наявність інформації про динамічну поведінку ОК. Ідентифікація ОК може бути структурною, коли проводиться пошук структури математичного опису об'єкта, або параметричною, коли для відомої структури знаходять значення параметрів, що входять до рівняння моделі. Коли проводиться пошук параметрів моделі з відомою структурою, то говорять про ідентифікацію параметрів моделі, а не об'єкта.

Незважаючи на різноманітність і складність реальних ОК, при синтезі параметрів ПІД-регулятора використовуються, як правило, тільки дві структури математичних моделей ОК: модель першого порядку із затримкою, та модель другого порядку із затримкою [10].

Основною причиною, яка обмежує застосування більш складних моделей, є неможливість або трудомісткість аналітичного вирішення системи рівнянь, що описують ПІД-регулятор з моделлю високого порядку (саме аналітичні рішення набули найбільшого поширення при синтезі ПІД-регуляторів з автоматичним налаштуванням). Моделі більш високих порядків використовуються значно менше. Виходячи с цього, завдання розробки методу розрахунку параметрів регулятора для керування більш складними об'єктами високого порядку як статичними, так і астатичними, є актуальною інженерною проблемою.

Викладення основного матеріалу. Розрахунок параметрів регулятора за методом, що розглядається нижче, є наближеним, але дозволяє отримати якісні характеристики при керуванні астатичним об'єктом третього порядку з передатною функцією виду:

$$W_{OK}(s) = \frac{K}{s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}, \qquad (1)$$

 © С.С. Свістельник, А.Г. Тютюнник, 2013

де T_1 та T_2 – постійні часу ОК; K – коефіцієнт передачі ОК.

Взагалі структурна схема системи керування має вигляд, наведений на рисунку 1.

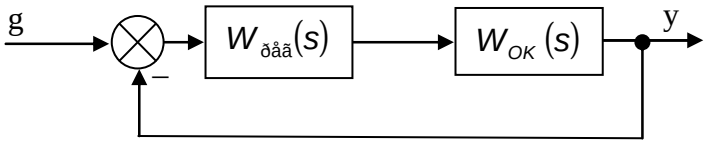

Рис. 1. Структурна схема системи керування

Метою даної задачі є вибір структури та параметрів регулятора, який перетворить замкнутий контур системи у коливальну ланку з малою постійною (бажаною) часу $T_Á$, та коефіцієнтом передачі, що дорівнює одиниці:

$$W_K(s) = \frac{1}{T_Á^2 s^2 + 2T_Á \xi s + 1}, \tag{2}$$

де ξ – коефіцієнт загасання коливань.

Для забезпечення плавного перехідного процесу, близького до аперіодичного, необхідно, щоб $\xi > 1$.

Для визначення структури регулятора, необхідно прирівняти вираз для передатної функції замкнутої системи до виразу (2):

$$\frac{W_{ðåã}(s) \cdot W_{OK}(s)}{1 + W_{ðåã}(s) \cdot W_{OK}(s)} = W_K(s), \tag{3}$$

або

$$\frac{W_{ðåã}(s) \cdot K}{s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1) + W_{ðåã}(s) \cdot K} = \frac{1}{T_Á^2 s^2 + 2T_Á \xi s + 1}. \tag{4}$$

З рівняння (4) отримаємо передатну функцію регулятора:

$$W_{ðåã}(s) = \frac{T_1 T_2 s^3 + (T_1 + T_2)s^2 + s}{K T_Á^2 s^2 + 2T_Á \xi K s}. \tag{5}$$

Розкладемо вираз (5) у ряд Тейлора. Перші три складові ряду будуть відповідати параметрам регулятора, що має ПІД-закон керування:

$$W_{ðåã}(s) = T_Ä s + K_Ï + \frac{K_Ð}{s}, \tag{6}$$

де диференційна складова має вигляд:

$$T_Ä = \frac{T_1 T_2}{K T_Á^2}; \tag{7}$$

пропорційна –

$$K_Ï = \frac{(T_1 + T_2) \cdot T_Á - 2\xi T_1 T_2}{K T_Á^3}; \tag{8}$$

інтегральна –

$$K_Ð = \frac{T_Á^2 - 2\xi \cdot [(T_1 + T_2) \cdot T_Á - 2\xi T_1 T_2]}{K T_Á^4}. \tag{9}$$

Задачу можна розглядати як термінальну задачу керування, при якій об'єкт з одного стану в інший переводиться за заданий проміжок часу:

$$t_{ðåã} \le 2nT_Á, \tag{10}$$

де $t_{ðåã}$ – заданий час регулювання вихідної координати; $2n$ – емпірична складова, що визначається за перехідною характеристикою коливальної ланки (2):

$$h(t) = 1 - \left(\sqrt{1-\xi^2}\right)^{-1} e^{-\xi t / T_Á} \sin\left(\sqrt{1-\xi^2}\,\frac{t}{T_Á} + \arccos\xi\right), \tag{11}$$

залежить від величини ξ, та враховує наближений метод розрахунку параметрів регулятора.

Як видно з (8), при $T_Д = \frac{2\xi T_1 T_2}{(T_1 + T_2)}$ зникає пропорційна складова $K_П$, що призведе до затягування процесу керування в цілому. Тому для отримання якісних характеристик процесу керування, для випадку, коли $K_П > 1$, при визначенні бажаної постійної часу коливальної ланки $T_Д$, необхідно враховувати емпіричний коефіцієнт $m = 1{,}3...1{,}4$:

$$T_Д = m\frac{2\xi T_1 T_2}{(T_1 + T_2)}. \quad (12)$$

Аналіз виразу (9) з урахування рекомендацій щодо визначення величини $T_Д$ за виразом (12), показує, що у даному випадку інтегральна складова $K_І$ буде мати від'ємне значення. Для отримання додатного значення $K_І$, емпіричний коефіцієнт m повинен бути на порядок більше зазначеного, що, виходячи з виразу (10), призведе також до затягування процесу керування. Тому для керування астатичним об'єктом третього порядку з астатизмом першого порядку доцільно вилучити інтегрально складову, тобто використовувати пропорційно-диференційний закон керування.

Розв'язок задачі для конкретного технологічного об'єкта

Проведемо моделювання з наступними параметрами ОК: $K = 0{,}5$, $T_1 = 0{,}1$ с, $T_2 = 1$ с, та коефіцієнтом загасання коливань: $\xi = 1{,}2$.

За виразом (12) бажана постійна часу буде дорівнювати $T_Д = 0{,}3$ с. Тоді використовуючи вирази (7) та (8), отримаємо параметри настройки ПД-регулятора: $K_П = 6{,}67$, $T_Д = 2{,}22$ с.

На рисунку 2 наведена модель системи керування, створена в модулі Simulink MATLAB.

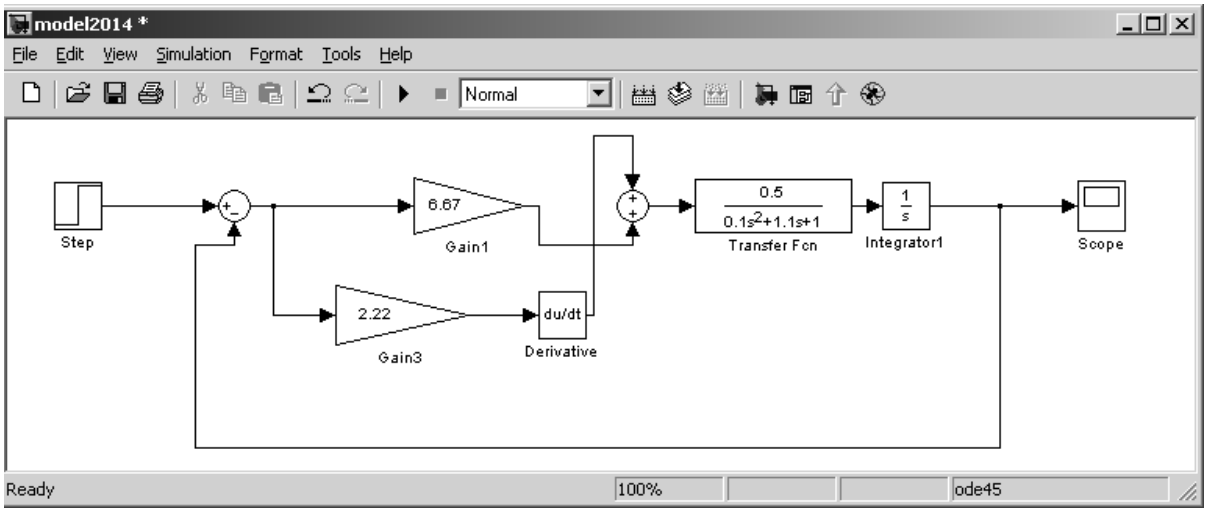

Рис. 2. Модель системи керування

На рисунку 3 наведено результат моделювання у вигляді перехідної характеристики вихідної координати системи та перехідної характеристики "коливальної" ланки, що лягла в основу методу розрахунків. На рисунку 4 наведено ЛАХ та ЛФХ синтезованої системи керування та базової "коливальної" ланки.

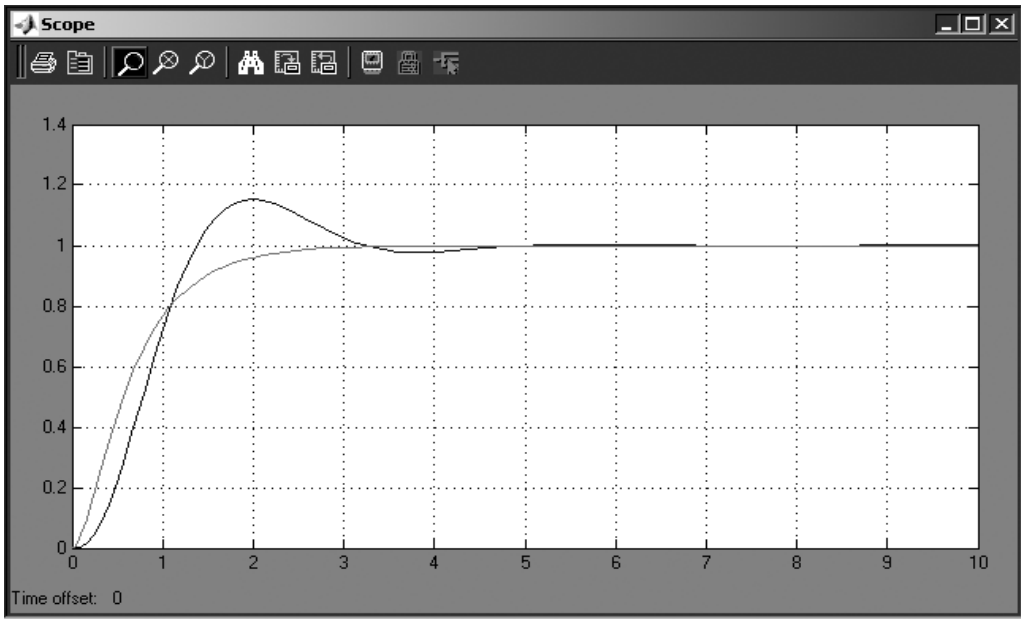

Рис. 3. Перехідні характеристики синтезованої системи керування та базової "коливальної" ланки

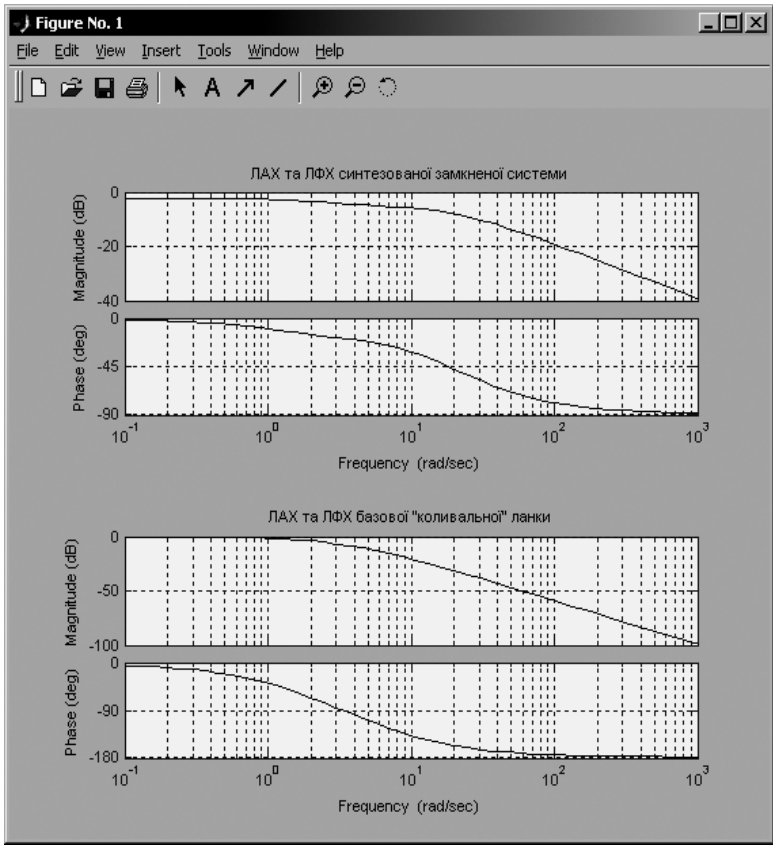

Рис. 4. ЛАХ та ЛФХ синтезованої системи керування та базової "коливальної" ланки

З рисунку 3 видно, що обраний регулятор забезпечує якісне керування з відносним перерегулюванням вихідної координати у межах 16 %, та часом регулювання, який дорівнює 2,8 с і відповідає виразу (10) (значенню $\xi = 1{,}2$ відповідає значення $n = 6{,}21$). Рисунок 4 показує практичну ідентичність частотних характеристик базової "коливальної" ланки та синтезованої системи.

Висновки. Розроблено метод розрахунку параметрів регулятора для керування астатичними

об'єктами третього порядку. Доведено, що якісний процес керування забезпечується використанням пропорційно-диференційного закону керування. Показано, що розраховані параметри ПД-регулятора забезпечують майже плавну зміну вихідної координати об'єкта керування, що вказує на доцільність використання розробленого методу. Відмінність закону зміни вихідної координати від аперіодичного закону є результатом наближених розрахунків параметрів регулятора, що є відмінною рисою запропонованого методу.

Список використаної літератури:

1. *Ziegler J.G.* Optimum settings for automatic controllers / *Ziegler J.G., Nichols N.B.* // Trans. ASME. – 1942. – Vol. 64. – Pp. 759–768.
2. *Комиссарчик В.Ф.* Автоматическое регулирование технологических процессов : учеб. пособие / *В.Ф. Комиссарчик*. – Тверь : ТГТУ, 2001. – 248 с.
3. *Кузищин В.Ф.* Настройка автоматических регуляторов с определением модели объекта второго порядка с запаздыванием по двум точкам комплексной частотной характеристики / *В.Ф. Кузищин, С.В. Петров* // Теплоенергетика. – 2012. – № 10. – С. 50–57.
4. *Дикусар Ю.Г.* Аналитические формулы и алгоритмы определения параметров настройки автоматических регуляторов энергоустановки / *Ю.Г. Дигусар, А.В. Волков, Г.В. Фарафонов* // Сборник научных трудов СНУЯЭиП. – Севастополь : СНУЯЭиП, 2008. – Вып. 4 (28). – С. 15–21.
5. *Писарев А.В.* Сравнительные исследования расчетных методов определения параметров настроек промышленных ПИД-регуляторов / *А.В. Писарев* // Энергетика и теплотехніка : сб. науч. трудов НГТУ. – 2007. – Вып. 11. – С. 191–200.
6. *Жмудь В.А.* Расчет множества коэффициентов регуляторов для объекта с двумя нестационарными параметрами / *В.А. Жмудь, А.В. Полищук* // Сборник научных трудов НГТУ. – 2012. – № 3 (69). – С. 59–70.
7. *Пикина Г.А.* Беспоисковый метод расчета настроек ПИД-регуляторов на минимум квадратичного критерия / *Г.А. Пикина, Ю.С. Мещерякова* // Теплоенергетика. – 2012. – № 10.– С. 58–64.
8. *Тютюнник А.Г.* Оптимальні і адаптивні системи автоматичного керування : навч. посібник / *А.Г. Тютюнник*. – Житомир : ЖІТІ, 1998. – 512 с.
9. *Швець В.І.* Виконавчі механізми, регулювальні органи і пристрої : навч. посібник / *В.І. Швець, Д.М. Шостачук*. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – 211 с.
10. *Бажанов В.Л.* Настройка ПИД-регуляторов с помощью метода масштабирования на объектах управления с запаздыванием и на объектах высокого порядка / *В.Л. Бажанов, А.В. Кузьмин, Н.В. Кузьмин* // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 2. – С. 15–20.

СВІСТЕЛЬНИК Сергій Сергійович – старший викладач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– розробка систем автоматичного керування, регулювання та контролю технологічних параметрів і процесів.

E-mail: mblg_tavr@yahoo.com

ТЮТЮННИК Анатолій Гнатович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– синтез оптимальних та адаптивних систем керування технологічними процесами.

Стаття надійшла до редакції 28.08.2013