

УДК 621.31:62-53

СИНТЕЗ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ РОЮ ЧАСТИНОК ЗА ВИКОРИСТАННЯМ ДРОБОВИХ СТАНДАРТНИХ ФОРМ

Б. Л. Копчак

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна. E-mail: kopchak@mail.ru

Запропоновано підхід до синтезу дробових регуляторів для контурів керування електромеханічних систем методом рою частинок. Оригінальність такого підходу полягає в тому, що передбачається вибирати бажану якість перехідного процесу за параметрами однієї з гами стандартних дробових форм Баттерворта або біноміальної. Розглянуто два варіанти синтезу параметрів регулятора методом рою частинок: за використанням перехідної функції бажаної стандартної дробової форми, за характерними точками перехідної функції бажаної стандартної дробової форми (час першого досягнення 95 % від усталеного значення перехідного процесу ($t_{0.95}$), перерегулювання (y_{max}), час досягнення максимуму перерегулювання (t_{max})). Наведено результати аналізу ступеня співпадання отриманих у результаті синтезу перехідних функцій з еталонною. Показано, що кількість ітерацій методу рою частинок можна задавати вручну або вводити процедуру припинення ітераційного процесу, коли абсолютне середньоквадратичне відхилення найкращої частинки від положення на еталонній кривій стане меншим за задане. Варіант синтезу за характерними точками перехідної функції як більш швидкодіючий і такий, що забезпечує задовільну точність, рекомендовано для самоналагодження параметрів регулятора швидкості електроприводів із мікропроцесорними системами керування.

Ключові слова: електромеханічна система, синтез, перехідна функція, дробовий регулятор.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Дослідження низки авторів показали, що застосування в електромеханічних системах (ЕМС) регуляторів дробового порядку для об'єктів керування цілого порядку дозволяє отримати кращу гнучкість у налагодженні та якість динамічних характеристик, ніж використання регуляторів цілого порядку [1]. Ця якість робить керування дробового порядку потужним інструментом у проектуванні робастних систем керування з меншою кількістю параметрів налагодження. Основна перевага такого керування полягає в тому, що, використовуючи декілька параметрів для налаштування, регулятор дробового порядку досягає подібну робастність, що й контролери цілого, але значно вищого порядку. Так само, як дробові числа знаходяться між цілими числами, схеми керування дробового порядку будуть поширюватися, доповнюючи існуючі схеми керування цілого порядку в їх дробових дублікатах.

Аналіз і синтез лінійних та лінеаризованих систем автоматичного керування (САК) зазвичай здійснюється за допомогою передаточних функцій (ПФ) цілого порядку. Як показано в публікаціях останніх років, такі системи є частковим випадком більш загального їх надання за допомогою ПФ дробового порядку. За результатом синтезу різноманітних систем, що описуються ПФ дробового порядку, отримуються відповідні регулятори, які описуються ПФ дробового порядку.

У низці літературних джерел, зокрема [1, 2], наведено результати синтезу ЕМС із регуляторами дробового порядку за використанням методу рою частинок (МРЧ), моделювання в пакеті Ninteger у середовищі MATLAB тощо. Аналіз цих результатів показує їх складність і недосконалість, що призводить до суттєвої розбіжності результатів, отриманих шляхом синтезу, й бажаних.

Метою даної роботи є запропонування модифікації МРЧ для синтезу ЕМС, який базується на використанні стандартних дробових форм із можливістю його використання в самоналагоджувальних

системах.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для проведення досліджень візьмемо об'єкт керування, який запозичений із [2] з метою порівняння ефективності запропонованого методу синтезу з МРЧ, за використанням якого розраховано параметри дробового ПД-регулятора:

$$W_p(s) = K_p + T_i s^{-\lambda} + T_d s^{\delta}; \quad (1)$$

для об'єкта керування з ПФ:

$$W_H(s) = \frac{1}{0,8s^{2,2} + 0,5s^{0,9} + 1}. \quad (2)$$

У дробовому ПД-регуляторі, І-і та Д-дробові складові дають більш широкі рамки синтезу. Природно, що крім значень пропорційної, диференціальної та інтегральної складових K_p, T_i, T_d відповідно є ще два параметри: степінь s в інтегралі й похідній – λ і δ відповідно. Пошук вектора $[K_p, T_i, T_d, \lambda, \delta]$ як оптимального рішення даного процесу, таким чином, вимагає оптимізації в п'яти-мірному просторі.

На рис. 1. показано структурну схему САК із такими об'єктами керування $W_H(s)$, дробовим регулятором $W_p(s)$ і зворотним зв'язком із коефіцієнтом $K_{зз}$.

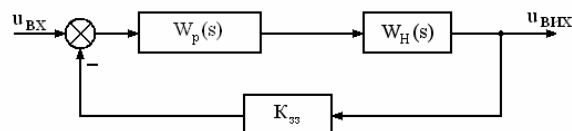


Рисунок 1 – Структурна схема САК

На рис. 2 (крива «1») показано перехідну функцію об'єкта керування, яка відповідає ПФ (1). У [2] автор, задавшись параметрами перехідного процесу в САК із ПФ (1): максимальним перерегулюванням 10 % і часом наростання 0,3 с., у результаті синтезу

отримав ПФ регулятора

$$W_p(s) = 442,38 + 324,03s^{-1,5} + 115,27s^{1,41}$$

і перехідний процес із наступними параметрами: час наростання 0,03 с. і перерегулювання 0,5 %, які значно відрізняються від заданих (рис. 2, крива «2»). Слід зазначити, що ці параметри синтезованого регулятора складно реалізувати на практиці.

Нами запропоновано два варіанти синтезу параметрів регулятора за використанням МРЧ:

– за використанням перехідної функції бажаної стандартної дробової форми;

– за характерними точками перехідної функції бажаної стандартної дробової форми (час першого досягнення – 95 % від усталеного значення перехідного процесу (t_{095}); перерегулювання (y_{max}); час досягнення максимуму перерегулювання (t_{max})).

У першому випадку як приклад використаємо стандартну перехідну функцію дробового порядку (форма Баттерворта) [3] з бажаною якістю перехідного процесу, $t_{095}=0,28$ с., $\delta_n=7,32$ %, $t_{max}=0,52$ с., яка відповідає ПФ (3) для $\omega_{oc} = 10$ с⁻¹ [4]:

$$W_{ct.Bat.}(s) = \frac{\omega_{oc}}{s^{1,2} + \omega_{oc}} \quad (3)$$

Алгоритм вибору параметрів дробового ПД-регулятора для оптимізації контуру з об'єктом керування (1) за застосуванням модифікованого МРЧ [4] і всієї перехідної функції бажаної стандартної дробової форми полягає в наступному.

1. Вносимо в пам'ять комп'ютера еталонну перехідну функцію (3) з дискретизацією в часі за період 2 с. і кількістю розрахункових точок $M=200$, тобто крок 0,01с.

2. Для дробового ПД-регулятора з ПФ будуємо п'ятивимірний простір рою (за кількістю параметрів: $K_p, T_i, T_d, \lambda, \delta$) [4].

3. На кожній ітерації для кожної частинки рою (координата параметрів регулятора у п'ятивимірному просторі) й набутих нею в процесі руху в просторі параметрів знаходиться її перехідна функція й відбувається порівняння її з еталонною. Частинка, параметри якої забезпечать найменше абсолютне середньоквадратичне відхилення й менше від попередньої ітерації, буде визначена як найкраща на даній ітерації, а її параметри будуть визначати траєкторію руху інших частинок на наступній ітерації.

4. Кількість ітерацій можна або задавати в ручному режимі, або вводити процедуру припинення ітераційного процесу, коли абсолютне середньоквадратичне відхилення найкращої частинки стане меншим за задане.

Для порівняння точності збігу перехідної функції, отриманої за використанням дробового ПД-регулятора й бажаної, для кожного елемента рою на кожній ітерації розрахуємо похибки апроксимації у вигляді абсолютного середньоквадратичного відхилення σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (y_i - y_{ie})^2} \quad (4)$$

де y_i – значення отриманої перехідної функції в i -й точці; y_{ie} – значення бажаної перехідної функції в i -й точці; M – кількість точок опрацювання перехідного процесу.

σ_n – відносна похибка апроксимації перехідної функції, знайдена за виразом

$$\sigma_n = \frac{\sigma}{y_y} 100 \%, \quad (5)$$

де y_y – усталене значення перехідної функції.

Для зменшення часу синтезу, зокрема для можливості його використання для реалізації самоналагоджувальної системи керування ЕМС, нами запропоновано підхід до синтезу дробового ПД-регулятора за характерними точками перехідної функції бажаної стандартної дробової форми або будь-якої іншої (час першого досягнення 95 % від усталеного значення перехідного процесу (t_{095}), перерегулювання (y_{max}), час досягнення максимуму перерегулювання (t_{max})).

Відмінність алгоритму такого підходу порівняно з попереднім полягає в наступному: порівняння перехідної функції з еталонною відбувається лише у певних характерних точках перехідного процесу t_{095} , y_{max} і t_{max} .

Для цього в алгоритм запропоновано ввести функцію якості для пошуку дробового ПД-регулятора J , яка в програмному середовищі МАТЛАБ записана у вигляді

$$J = kt(t_{095} - t_{095i})^2 + ky(y_{max} - y_{maxi})^2 + k_{tmax}(t_{max} - t_{maxi})^2 + y_{maxplus} \quad (6)$$

де kt , ky , k_{tmax} – вагові коефіцієнти, які враховують ступінь важливості кожної з характерних точок, і їх можна корегувати у процесі синтезу.

На кожному кроці ітерації відбувається порівняння біжучих параметрів кожного елемента рою з еталонними і розрахунок функції якості. У процесі роботи МРЧ функція якості J мінімізується (в ідеальному випадку вона дорівнює нулю).

На рис. 2 показані перехідні функції:

крива 1 – об'єкта керування з ПФ (1);

крива 2 – результат, отриманий у [2] за використанням регулятора з ПФ:

$$W_p(s) = 442,38 + 324,03s^{-1,5} + 115,27s^{1,41};$$

крива 3 – результат, отриманий МРЧ за використанням перехідної функції бажаної стандартної дробової форми (3) з ПФ дробового ПД-регулятора:

$$W_p(s) = 7,017 + 13,54s^{-1,397} + 7,63s^{1,021};$$

крива 4 – результат, отриманий МРЧ за використанням характерних точок перехідної функції бажаної стандартної дробової форми (3) з ПФ дробового ПД-регулятора (для випадку $kt=0,1$; $ky=1$; $k_{tmax}=1$):

$$W_p(s) = 15,369 + 27,25s^{-1,157} + 9,41s^{1,185}.$$

Основні параметри (характерні точки) перехідних функцій, які визначаються автоматично в процесі розрахунку в програмному середовищі МАТЛАБ, а також ступінь збігу отриманих перехідних функцій із вибраною стандартною формою Баттерворта зведено до табл. 1.

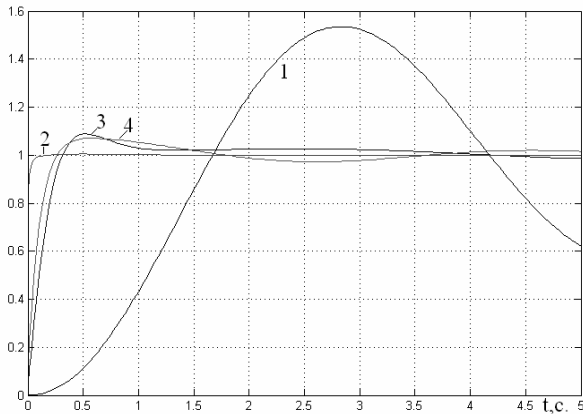


Рисунок 2 – Перехідні функції: об’єкта керування – крива «1», за різними варіантами МРЧ – криві «2, 3, 4»

Таблиця 1 – Основні параметри перехідних функцій

Перехідні функції	Параметри ПФ			Похибка σ_n [%]
	t_{095} [с]	δ_n [%]	t_{max} [с]	
Стандартна дробова форма (3)	0,28	7,3	0,75	-
МРЧ за перехідною функцією	0,273	8,9	0,81	1,52
МРЧ за характерними точками	0,213	7,04	1,05	4,7

ВИСНОВКИ. 1. Запропонований підхід до синтезу дробового ПІД-регулятора за характерними точками перехідної функції бажаної стандартної

дробової форми забезпечує достатній ступінь наближення до неї ($\sigma_n = 4,7\%$), задовільну швидкодію й може бути запропонований для реалізації самоналагоджувальної системи керування ЕМС за використанням програмованого логічного контролера перетворювача частоти.

2. Розроблена методика синтезу придатна для вибору параметрів як дробових, так і цілочисельних регуляторів, які є частковим випадком дробових.

ЛІТЕРАТУРА

1. Zhao C., Xue D., Chen Y. A fractional order PID tuning algorithm for a class of fractional order plants // *Proceeding of the IEEE International conference on mechatronics& automation.* – Canada: Niagara Falls, July, 2005. – PP. 216–221.

2. Maiti D., Biswas S., Konar A. Design of a Fractional Order PID Controller Using Particle Swarm Optimization Technique // *Proc. 2nd National Conference on Recent Trends in Information Systems (ReTIS-08).* – India: Kolkata, February, 2008. – 5 p.

3. Марущак Я.Ю., Копчак Б.Л. Дробові стандартні форми для синтезу електромеханічних систем // *Науково-технічний журнал «Електротехнічні та комп’ютерні системи».* – К.: Техніка, 2014. – Вип. 15 (91). – С. 57–60.

4. Копчак Б.Л. Апроксимація перехідних функцій поліномами дробового порядку // *Науково-технічний журнал «Електротехнічні та комп’ютерні системи».* – К.: Техніка, 2014. – Вип. 14 (90). – С. 20–27.

SYNTHESIS ELECTROMECHANICAL SYSTEMS USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION AND FRACTIONAL STANDARD FORM

В. Копчак

National University “Lvivska Politekhnika”

vul. S. Bandery, 12, Lviv, 79013, Ukraine. E-mail: kopchak@mail.ru

The approach to the synthesis of fractional controllers for electromechanical systems control circuits by a particle swarm optimization method has been proposed. Novelty of this approach lies in the idea that one is supposed to choose the desired quality of the transition process by the parameters of one of the standard fractional Butterworth forms or the binomial one. The paper considers two variants of the controller parameters synthesis by a particle swarm optimization: using the transition function of desired standard fractional form; using the characteristic points of transition function of desired standard fractional form (the first achievement of 95 % of the fixed value of the transition process (t_{095}), overshooting (y_{max}), achieving maximum overshooting (t_{max})). The results of coincidence degree analysis have been presented as obtained from the synthesis of transition functions with the standard one. It has been shown that the number of particle swarm optimization method iteration can be set manually or through the procedure of iterative process termination when the absolute standard deviation of particle best position on the standard curve will be lower than specified. Synthesis at specific points of transition functions as a faster one that provides satisfactory accuracy has been recommended to apply for the purpose of self-tuning the parameters of electric speed controller with microprocessor control system.

Key words: electromechanical system, synthesis, transition function, fractional controller.

REFERENCES

1. Zhao, C., Xue, D. and Chen, Y. (2005), “A fractional order PID tuning algorithm for a class of fractional order plants”, *Proceeding of the IEEE International conference on mechatronics & automation*, Niagara Falls, Canada, July, 2005, pp. 216–221.

2. Maiti, D., Biswas, S. and Konar A. (2008), “Design of a Fractional Order PID Controller Using Particle Swarm Optimization Technique”, *Proc. 2nd National Conference on Recent Trends in Information Systems (ReTIS-08)*, Kolkata, India.

3. Marushchak, Y.Y. and Kopchak, B.L. (2014), “Fractional standard forms for the synthesis of electromechanical systems”, *Naukovo-tehnichnyi zhurnal «Elektrotehnichni ta kompyuterni systemy»*, Vol. 15, no. 91, pp. 57–60. (in Ukrainian)

4. Kopchak, B.L. (2014), “Approximation of transition functions using fractional order polynomials”, *Naukovo-tehnichnyi zhurnal «Elektrotehnichni ta kompyuterni systemy»*, Vol. 14, no. 90, pp. 20–27. (in Ukrainian)