

УДК 629.7.615

Н. С. Ащепкова, А. С. Іванов

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РОБОТОМ

Проведені дослідження системи керування маніпулятором за допомогою пакету прикладних програм MathCad. Аналіз структурної схеми дозволяє скласти математичну модель об'єкту керування – стежної системи керування з комбінованим каналом керування. Метою математичного моделювання є контроль та забезпечення якісних характеристик (час перехідного процесу, швидкодія і т. ін.)

Ключові слова: електромеханічна система, структурна схема, передавальна функція, математична модель.

Проведено исследование системы управления манипулятором при помощи пакета прикладных программ MathCad. Анализ структурной схемы позволяет составить математическую модель объекта управления – следящей системы управления с комбинированным каналом. Целью математического моделирования является контроль и обеспечение качественных показателей (время переходных процессов, быстродействие и т.д.).

Ключевые слова: электромеханическая система, структурная схема, передаточная функция, математическая модель.

The research of a control system of the manipulator is carried out(spent) through a package of the applied programs MathCad. The analysis of the block diagram allows to make mathematical model of object of management - control system with the combined channel. The purpose of mathematical modeling is the control and maintenance of qualitative parameters (time of transients, speed and others).

Key words: electromechanical system, block diagram, transfer function, mathematical model.

Розвиток науки обумовлює впровадження чисельних методів для отримання експериментальних даних. Останнім часом для інженерних розрахунків широко використовується пакет прикладних програм MathCad [5, 6]. Математичне моделювання системи керування у середовищі MathCad є актуальною науковою задачею.

Постановка задачі. Провести математичне моделювання слідкуючої системи управління з комбінованим каналом керування. Об'єкт керування (система управління роботом) складається з електродвигуна постійного струму із вбудованим тахогенератором (ТГ), реверсивного тиристорного перетворювача (ТП), редуктора та виконавчого органу (ВО) [3]. Тиристорний перетворювач задається ланкою – $\frac{K_p}{(T_p \cdot p + 1)}$. Слідкуюча система має замкнуті контури регулювання по швидкості обертання двигуна ω_d і кутовому положенню виконавчого органу ϕ_c [1, 2].

Для моделювання об'єкту керування (слідкуючої системи управління з комбінованим каналом керування) в системі MathCad необхідно [5, 6]:

- 1) визначити значення початкових даних;
- 2) сформулювати вектор початкових значень шуканих параметрів, часовий інтервал функціонування досліджуваної системи і кількість розрахунків;
- 3) сформулювати вектор-стовпець правих частин системи диференціальних рівнянь;
- 4) обрати метод і відповідну функцію для рішення системи диференціальних рівнянь;

5) представити в табличному і графічному вигляді результати моделювання системи.

Об'єкт керування характеризується наступними значеннями параметрів:

– $k_p = 26$ – коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача;

– $T_p = 0,003$ с – постійна часу тиристорного перетворювача;

– $R_d = 0,4$ Ом – активний опір якорного кола електродвигуна;

– $T_{em} = 1,3$ с – електромеханічна постійна часу, враховуюча сумарний момент

інерції двигуна і виконуючого органу;

– $c_{1d} = c_M \times \Phi = 1,8$ Н×м/А – конструктивний коефіцієнт електродвигуна;

– $c_{2d} = c_E \times \Phi = 1,8$ В×с/рад – конструктивний коефіцієнт електродвигуна;

– $k_{mp} = 0,02$ – коефіцієнт механічної передачі (величина обернена передаточному числу редуктора $i = 50$);

– $k_g = 0,8$ В×с/рад – коефіцієнт передачі тахогенератора;

– $T_g = 0,01$ с – постійна часу тахогенератора.

Внутрішній контур швидкості налаштовується на оптимум за модулем (ОМ), тому регулятор швидкості (РШ) структурно виконаний як пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор і відповідна передавальна функція може бути представлена в такому вигляді [1]:

$$W_{pc}(PC) = B_C \cdot \frac{(t_{p1} \cdot p + 1) \cdot (t_{p2} \cdot p + 1)}{t_{p1} \cdot p \cdot (0,1 \cdot t_{p2} \cdot p + 1)},$$

а параметри обрані рівними

$$B_C = \frac{T_{em}}{2 \cdot T_{m\omega} \cdot k_p \cdot k_g \left(\frac{1}{c_{1d}} \right)} = \frac{12}{2 \cdot 0,013 \cdot 26 \cdot 0,8 \cdot \frac{1}{18}} = 3,994,$$

де $T_{m\omega}$ – еквівалентна мала постійна часу контура швидкості прийнята рівною $T_{m\omega} = T_g + T_p = 0,01 + 0,003 = 0,013$ с.

Постійні інтегрування відповідно рівні: $t_{p1} = T_{em} = 1,3$ с; $t_{p2} = T_d = 0,07$ с.

З метою зниження рівня перешкод в каналі регулювання диференціальна частина ПІД-регулятора швидкості обмежується частотою $10 / t_{p2}$.

Контур положення виконано за принципом комбінованого управління. У прямому каналі замкнутого контуру регулювання положення виконавчого органу застосований пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор положення (РП):

$$W_{PI}(p) = B_{PI} \cdot \frac{t_p \cdot p + 1}{t_p \cdot p}.$$

Окрім регулювання за похибкою $d = \varphi_3 - \varphi_c$ реалізовано канал регулювання по задаючій дії. Для цього на вхід внутрішнього контуру швидкості через коригувальну ланку з передавальною функцією $W_K(p) = \frac{t_k \cdot p}{t_d \cdot p + 1}$ подається сигнал

реальної похідної від задаючої дії φ_3 . За попередніми розрахунками визначено: $B_p = 640$; $t_p = 0,16$ с; $t_k = 50$ с; $t_d = 1$ с.

Потрібно підібрати таке значення постійної часу регулятора положення t_p при якому вихідна координата під час відпрацювання системою ступінчатого управління переходить в нове усталене положення з перерегулюванням не більше 20%.

Деталізована структурна схема слідкуючої системи з комбінованим приводом представлена на рис. 1 [1, 2].

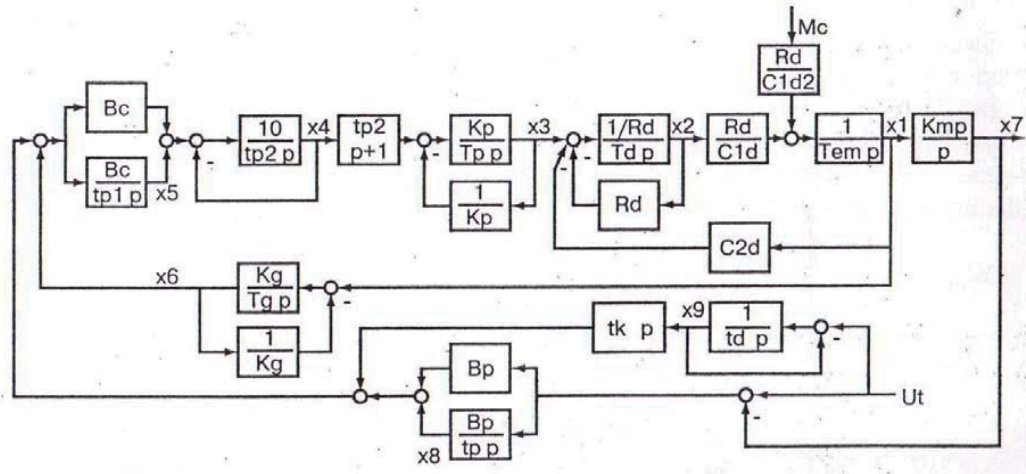


Рис. 1. Структурна схема стежної системи керування з комбінованим приводом

Представимо математичну модель функціонування досліджуваної системи за допомогою системи звичайних диференціальних рівнянь, що складається з дев'яти диференціальних рівнянь першого порядку, яка може бути записана у такому вигляді [2, 4]:

$$\begin{aligned}
 x_1' &= \frac{R_d \cdot x_2}{T_{em} \cdot C_{1d}}; \\
 x_2' &= \frac{1}{T_d} \left[\frac{-C_{2d}}{R_d} x_1 - x_2 + \frac{x_3}{R_d} \right]; \\
 x_3' &= \frac{1}{T_p} \left[-x_3 + k_p \left[-9x_4 + 10x_5 + 10B_c \left[-x_6 - B_p \cdot x_7 + x_8 - \frac{t_k \cdot x_9}{t_d} + \left(B_p + \frac{t_k}{t_d} \right) \cdot U_t \right] \right] \right]; \\
 x_4' &= \frac{10}{t_{p2}} \left[-x_4 + x_5 + B_c \left[-x_6 - B_p \cdot x_7 + x_8 - \frac{t_k \cdot x_9}{t_d} + \left(B_p + \frac{t_k}{t_d} \right) \cdot U_t \right] \right]; \\
 x_5' &= \frac{B_c}{t_{p1}} \left[-x_6 - B_p \cdot x_7 + x_8 - \frac{t_k \cdot x_9}{t_d} + \left(B_p + \frac{t_k}{t_d} \right) \cdot U_t \right]; \\
 x_6' &= \frac{k_g \cdot x_1 - x_6}{T_g}; \\
 x_7' &= k_{mp} \cdot x_1; \\
 x_8' &= \frac{B_p}{t_p} \cdot (-x_7 + U_t); \\
 x_9' &= \frac{-x_9 + U_t}{t_d}.
 \end{aligned}$$

Розглянемо процес моделювання об'єкту керування, що включає стежну систему з комбінованим каналом управління, в системі MathCad.

Формування вектору початкових значень шуканих параметрів, тимчасового інтервалу і числа розрахунків представлено на рис. 2.

Формування вектору початкових значень шуканих параметрів x , тимчасового інтервалу часу ($t1, t2$), числа розрахунків n і шуканих параметрів

<code>ORIGIN := 1</code>	значення початкового індексу шуканих параметрів інтегрування приймемо рівним 1 (за умовчанням він рівний 0)	
Початкові значення шуканих параметрів досліджуваної системи		Шукані параметри у функції часу
x_1		- час протікання процесу управління;
x_2		- кутова швидкість електродвигуна, рад/с;
x_6		- вихідна координата – кут повороту виконавчого механізму, рад;
		Початкові параметри для виконання процесу інтегрування:
$t1:=0$		- початковий час інтегрування;
$t2:=1$		- кінцевий час інтегрування;
$n:=500$		- число кроків інтегрування.

Рис. 2. Формування вектору початкових значень шуканих параметрів, тимчасового інтервалу і числа розрахунків

Опишемо тепер функціонування стежної системи з комбінованим каналом управління [1] системою звичайних диференціальних рівнянь, які представлені на рис. 3.

Формування вектору-стовпця правих частин системи рівнянь – F

$$F(t, x) := \begin{bmatrix} \frac{Rd \cdot x_2}{(Tem \cdot Cld)} \\ \frac{-C2d \cdot x_1}{Rd} - x_2 + \frac{x_3}{Rd} \\ \frac{1}{Tp} \cdot \left[-x_3 + kp \cdot \left[-9 \cdot x_4 + 10 \cdot x_5 + 10 \cdot Bc \cdot \left[-x_6 - Bp \cdot x_7 + x_8 - \left(\frac{tk}{td} \right) \cdot x_9 + \left(Bp + \frac{tk}{td} \right) \cdot Ut \right] \right] \right] \\ \frac{10}{tp2} \cdot \left[-x_4 + x_5 + Bc \cdot \left[-x_6 - Bp \cdot x_7 + x_8 - \left(\frac{tk}{td} \right) \cdot x_9 + \left(Bp + \frac{tk}{td} \right) \cdot Ut \right] \right] \\ \frac{Bc}{tp1} \cdot \left[-x_6 - Bp \cdot x_7 + x_8 - \left(\frac{tk}{td} \right) \cdot x_9 + \left(Bp + \frac{tk}{td} \right) \cdot Ut \right] \\ \frac{(kg \cdot x_1 - x_6)}{Tg} \\ kmp \cdot x_1 \\ \left(\frac{Bp}{tp} \right) \cdot (-x_7 + Ut) \\ \frac{(-x_9 + Ut)}{td} \end{bmatrix}$$

Рис. 3. Формування вектору-стовпця правих частин системи рівнянь – F

Для вирішення системи диференціальних рівнянь заздалегідь необхідно вибрати метод рішення, при цьому результати рішення системи рівнянь можна представити в табличному або графічному виді. Для вирішення цієї системи диференціальних рівнянь використовуємо метод Рунге-Кутта четвертого порядку,

для реалізації якого в системі MathCad є відповідна вбудована функція $rkfixed(x, t1, t2, n, F)$. Часткові результати рішення системи диференціальних рівнянь показані на рис. 4.

Результати рішення системи диференціальних рівнянь

	1	2	3	4
1	0	0	0	0
2	$2 \cdot 10^{-3}$	0.161	$1.272 \cdot 10^3$	$3.047 \cdot 10^4$
3	$4 \cdot 10^{-3}$	1.078	$3.802 \cdot 10^3$	$3.982 \cdot 10^4$
4	$6 \cdot 10^{-3}$	2.993	$6.536 \cdot 10^3$	$3.981 \cdot 10^4$
5	$8 \cdot 10^{-3}$	5.887	$9.037 \cdot 10^3$	$3.606 \cdot 10^4$
6	0.01	9.637	$1.115 \cdot 10^4$	$3.113 \cdot 10^4$
7	0.012	14.094	$1.285 \cdot 10^4$	$2.612 \cdot 10^4$
8	0.014	19.106	$1.416 \cdot 10^4$	$2.141 \cdot 10^4$
9	0.016	24.536	$1.511 \cdot 10^4$	$1.713 \cdot 10^4$
10	0.018	30.259	$1.575 \cdot 10^4$	$1.326 \cdot 10^4$
11	0.02	36.165	$1.611 \cdot 10^4$	$9.739 \cdot 10^3$
12	0.022	42.158	$1.622 \cdot 10^4$	$6.523 \cdot 10^3$
13	0.024	48.151	$1.611 \cdot 10^4$	$3.567 \cdot 10^3$
14	0.026	54.066	$1.58 \cdot 10^4$	838.925
15	0.028	59.834	$1.532 \cdot 10^4$...

$rkfixed(x, t1, t2, n, F) =$

Рис. 4. Часткові результати рішення системи диференціальних рівнянь

Вирішимо систему диференціальних рівнянь при ступінчастому керуванні $\Delta\varphi_3 = 0,1$ рад. Спочатку $t_p = 0,16$, а потім $t_p = 0,25$. Результат рішення в графічному вигляді при $t_p = 0,16$ представлений на рис. 5.

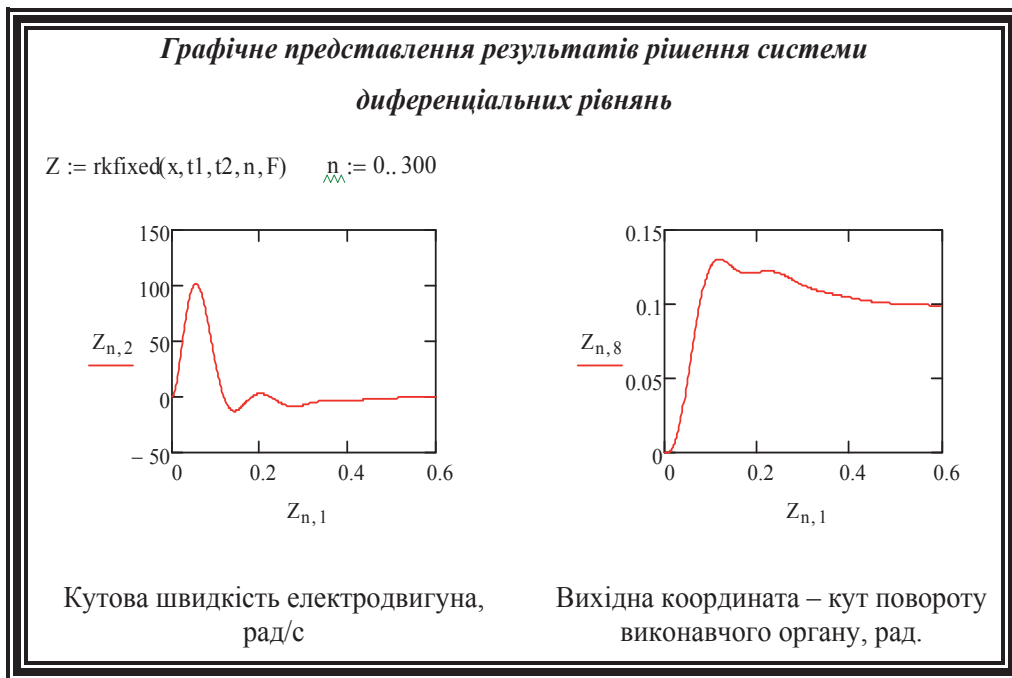


Рис. 5. Результат моделювання при $t_p = 0,16$ в графічному вигляді

Тепер вирішимо систему звичайних диференціальних рівнянь в графічному вигляді при $t_p = 0,25$ (рис. 6).

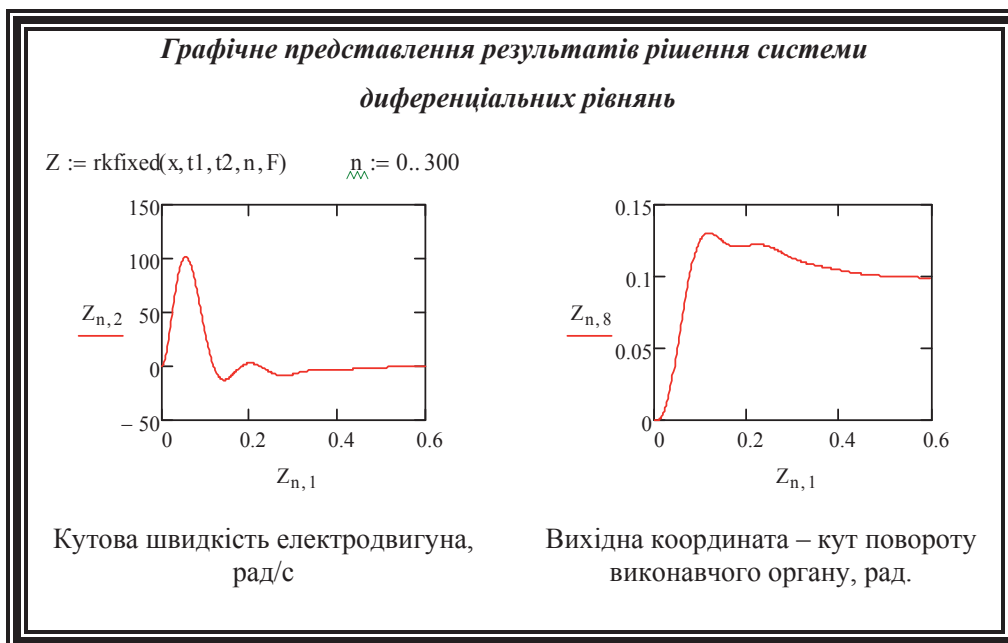


Рис. 6. Результат моделювання при $t_p = 0,25$ в графічному вигляді

У другому випадку при $t_p = 0,25$ спостерігається зменшення зміни значення кута повороту виконавчого органу під час переходу системи з одного стійкого положення в інше. Якщо в першому випадку зміна значення кута повороту виконавчого органу при переході системи з одного стійкого положення в інше характеризується значенням регулювання 26%, то в другому тільки 19%.

Бібліографічні посилання

1. **Бессекерский В. А.** Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бессекерский, Е. П. Попов. – М., 1975. – 590 с.
2. **Бурдаков С. Ф.** Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов / С. Ф. Бурдаков, В. А. Дьяченко, А. Н. Тимофеев. – М., 1986. – 264 с.
3. Детали и механизмы роботов: Основы расчёта, конструирования и технологии производства: учеб. пособие / Р. С. Веселков, Т. Н. Гонтаровская, В. П. Гонтаровский и др. / под ред. Б. Б. Самотокина. – К., 1990. – 343 с.
4. **Козырев Ю. Г.** Промышленные роботы: справочник / Ю. Г. Козырев. – М., 1988. – 392 с.
5. **Котлярский Л. Н.** MathCad. Решение инженерных и экономических задач / Л. Н. Котлярский. – СПб., 1999. – 388 с.
6. **Эйзеншпис А. А.** MathCad 2000. Руководство пользователя / А. А. Эйзеншпис. – М., 2000. – 570 с.

Надійшла до редколегії 24.04.2012.