

АВТОМАТИЧНЕ НАСТРОЮВАННЯ ПОЗИЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РОБОТОТЕХНІЧНИМ ПРИСТРОЄМ ІЗ ЗАМКНЕНОЮ КІНЕМАТИКОЮ

Вступ. Для робототехнічних пристроїв із замкненими кінематичними схемами є характерною така позитивна риса як жорсткість конструкцій, що дозволяє суттєво підвищити швидкість руху виконавчих органів [1]. У зв'язку з цим постає задача цифрового позиційного регулювання на базі мікропроцесорних контролерів. При цьому доцільно реалізовувати функцію автоматичного настроювання системи управління, без чого ускладнюється якісне впровадження теоретичних розробок у практичне використання.

Аналіз попередніх досліджень. Результати розробок системи цифрового позиційного регулювання для робототехнічного пристрою (рис. 1) з двома степенями рухомості розглянуто в [2]. Виконавчий орган ВО пристрою приводиться у дію за допомогою двох лінійних електродвигунів Д1 і Д2 через стрижні С1 і С2, які поєднані з індукторами двигунів, що переміщуються вздовж циліндричних напрямних Н1 і Н2. Управління двигунами забезпечує контролер DS1103 за допомогою спеціальних перетворювачів UZ1 і UZ2, які здійснюють регулювання струму двигунів i_1 і i_2 , відповідно, формування рушійної сили. Положення x_1 і x_2 визначається за допомогою імпульсних датчиків переміщень, умонтованих в індуктори двигунів.

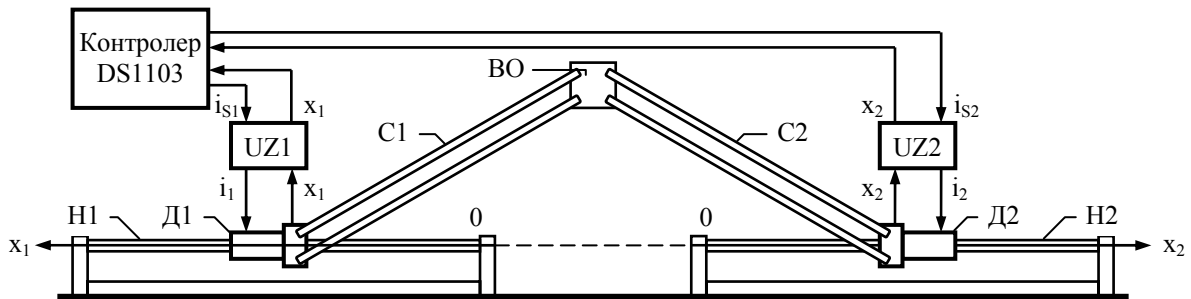


Рис. 1. Схема робототехнічного пристрою із замкненою кінематикою

Позиційне регулювання для кожного з приводів забезпечено пропорційними регуляторами швидкості та положення (на рис. 2 відповідно П-РШ і П-РП) при підпорядкованому контурі регулювання струму КРС. У системі регулювання реалізовано спостерігач стану, який на базі інформації про переміщення приводів x визначає їх миттєву швидкість \hat{v} і механічне навантаження у вигляді змінної $i_c^\#$. Побудова системи у відповідності з рис. 2 позитивно впливає на динамічні властивості позиційного регулювання і, отже, на якість формування траєкторії руху виконавчого органу, що доведено в [2]. Слід відзначити, що в порівнянні з розглянутим у [2] структуру системи регулювання раціоналізовано, зважаючи на аспекти практичної реалізації.

Для відповідного якісного функціонування електромеханічної системи робототехнічного пристрою постає задача автоматичного настроювання системи позиційного регулювання.

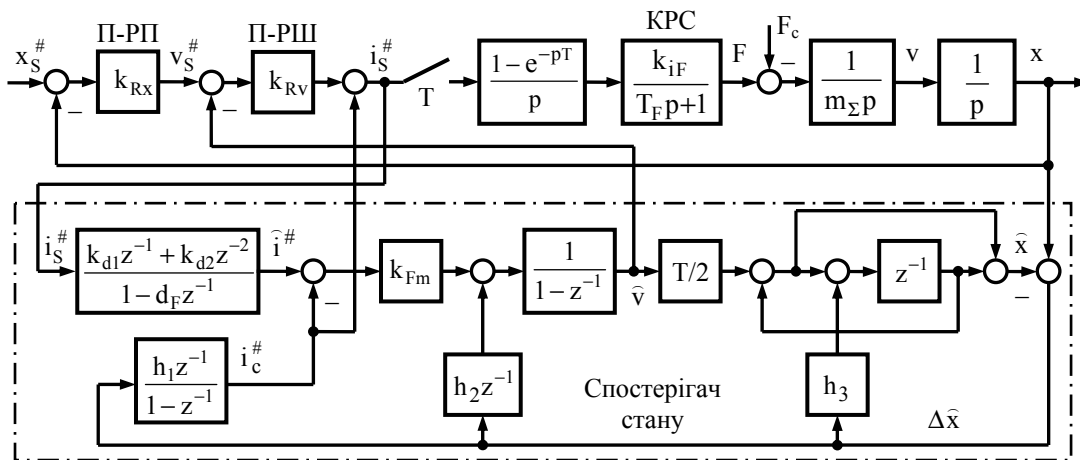


Рис. 2. Структурна схема системи позиційного регулювання

Мета роботи. Розробити й реалізувати принципи автоматичного настроювання позиційної системи управління робототехнічним пристроєм із замкненою кінематикою.

Матеріал і результати дослідження. Параметри системи позиційного регулювання (рис. 2) з урахуванням інформації з [2] визначають вирази:

$$\begin{aligned} k_{d1} &= 1 - \frac{T_F}{T} \cdot (1 - d_F); & k_{d2} &= \frac{T_F}{T} \cdot (1 - d_F) - d_F; & d_F &= \exp(-T/T_F); \\ k_{v1} &= 1 - \frac{T_V}{T} \cdot (1 - d_V); & k_{v2} &= \frac{T_V}{T} \cdot (1 - d_V) - d_V; & d_V &= \exp(-T/T_V); \\ k_{RV} &= \frac{(1 - d_V)^2}{k_{Fm}[k_{v1}(1 + d_V) + k_{v2}(3 - d_V)]}; & k_{Rx} &= \frac{k_{RV}k_{Fm}}{2T}; & h_1 &= K_{c3}; & h_2 &= \frac{K_{c2}}{T}; & h_3 &= \frac{K_{c1}k_{Fm}}{2} + \frac{h_2T}{4}; \\ K_{c1} &= \frac{1 - d_c}{1 + d_c}; & K_{c2} &= \frac{K_{c1}^2}{2 - K_{c1}}; & K_{c3} &= \frac{K_{c2}^2}{2TK_{c1}k_{Fm}}; & d_c &= \exp(-T/T_c); & k_{Fm} &= \frac{k_{1F}}{m_\Sigma}, \end{aligned} \quad (1)$$

де T – інтервал дискретності регулювання;
 T_F – стала часу, що визначає швидкодію регулювання струму двигуна й формування рушійної сили;
 T_V – стала часу, що визначає швидкодію регулювання швидкості електроприводу;
 T_c – стала часу, що визначає швидкодію функціонування спостерігача;
 k_{1F} – коефіцієнт передачі від цифрового завдання на струм до рушійної сили приводу;
 m_Σ – сумарна маса об'єкту позиційного регулювання.

Параметри k_{RV} , k_{Rx} , h_1 , h_2 , h_3 відповідають умовам модульного критерію оптимізації [3].

Швидкодія регулювання струму двигунів є відомою, а динамічні властивості регулювання швидкості електропривода та функціонування спостерігача задаються відповідно до технологічних вимог. З урахуванням цього на підставі аналізу виразів (1) можна зробити висновок, що для визначення параметрів системи регулювання необхідно мати значення коефіцієнта k_{Fm} .

Подібно до розглянутого в [4] коефіцієнт k_{Fm} можна ідентифікувати, аналізуючи змінення швидкості електропривода Δv за відомі інтервали часу для двох постійних рівнів струму двигуна (рис. 3) при припущенні однаковості середньої сили опору руху \bar{F}_c . При цьому здійснюється рух в обох напрямках, виходячи з необхідності забезпечення переміщень у межах робочого діапазону $[x_0, x_m]$. Гальмування розпочинається при досягненні положення, яке визначається як $x_1 = (x_0 + x_m)/2$.

З урахуванням завдань на струм привода при розгоні ($i_{S1}^\#$) та гальмуванні ($i_{S2}^\#$) при знехтуванні інерційністю формування струму, яка є незначною, процес характеризують рівняння:

$$\begin{aligned} \Delta v &= k_{Fm} i_{S1}^\# t_1 - \frac{1}{m_\Sigma} \cdot \bar{F}_c t_1; \\ \Delta v &= \frac{1}{m_\Sigma} \cdot \bar{F}_c t_2 - k_{Fm} i_{S2}^\# t_2. \end{aligned} \quad (2)$$

З рівнянь (2) випливає формула для визначення коефіцієнта k_{Fm}

$$k_{Fm} = \frac{\Delta v \cdot (1 + t_1/t_2)}{t_1 \cdot (i_{S1}^\# - i_{S2}^\#)}. \quad (3)$$

Для підвищення точності ідентифікації доцільно забезпечити рух на протязі всього діапазону робочих переміщень. Оскільки перед початком процесу ідентифікації двигун знаходиться в позиції $x = 0$, що фіксується кінцевим вимикачем, то його необхідно перевести в початкову позицію робочого діапазону x_0 . Це виконується за той самою часовою діаграмою руху, що й основна частина процесу ідентифікації (рис. 3), однак з деякими особливостями, які відображено у результатах експериментальних досліджень, поданих на рис. 4. По-перше, визначається рівень опору руху шляхом поступового збільшення завдання на струм двигуна до рівня $i_{c0}^\#$, при якому виникає рух. З урахуванням цього формується завдання на струм $i_{S0}^\#$, з яким привод переміщується у позицію $x_0/2$, після чого здійснюється гальмування за рахунок сили тертя при нульовому струмі. У результаті привод опиняється приблизно в положенні x_0 .

На початковому етапі процесу автоматичного настроювання розраховується попереднє значення коефіцієнта k_{Fm0} на основі формули (3). Це дає можливість визначити умови проведення основного етапу. На цьому етапі при припущенні розгону до максимальної швидкості v_m та гальмування приводу з однаковим постійним темпом a_S матимемо

$$\Delta x = x_m - x_0 = \frac{v_m^2}{a_S} = \frac{v_m^2}{k_{Fm}(i_{S0}^\# - i_{c0}^\#)}. \quad (4)$$

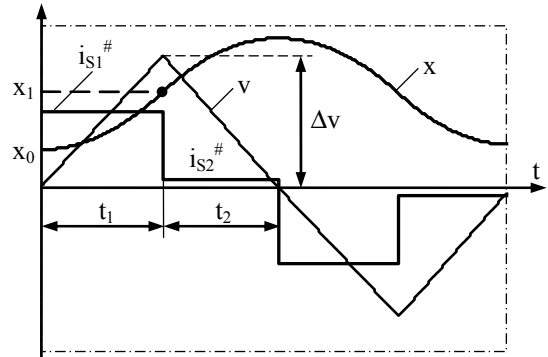


Рис. 3. Часова діаграма процесу ідентифікації параметрів об'єкту регулювання

Отже, враховуючи рівняння (2) і (4), а також результати виконання початкового етапу настройки, знаходимо:

$$\bar{i}_{c0}^{\#} = \frac{\bar{F}_c}{k_{Fm0} m_{\Sigma}} = i_{s0}^{\#} - \frac{\Delta v_0 T}{k_{Fm0} t_1} ; \quad i_{s1}^{\#} = \bar{i}_{c0}^{\#} + \frac{v_m^2 T}{k_{Fm0} (x_m - x_0)} ; \quad i_{s2}^{\#} = 2\bar{i}_{c0}^{\#} - i_{s1}^{\#} . \quad (5)$$

Такі завдання на струм двигуна застосовуються у першому циклі настройки. Для підвищення точності визначення параметра k_{Fm} виконується декілька циклів з наступним усередненням результатів. При цьому враховується, що сила опору руху суттєво залежить від швидкості, а також і від напрямку руху. Це вимагає для покращення стабільності процесу змінення положення здійснювати оцінку опору руху при кожному n-му циклі й перевизначати завдання на струм двигуна для етапу гальмування. Формулу для такого розрахунку знаходимо з рівнянь (2) при умові $t_2 = t_1$. У результаті маємо

$$i_{s2[n]}^{\#} = i_{s1}^{\#} - \frac{\Delta v_{[n]} T}{k_{Fm[n]} t_{1[n]}} . \quad (6)$$

На рис. 4 відображено процеси автоматичного настроювання позиційної системи, отримані експериментально.

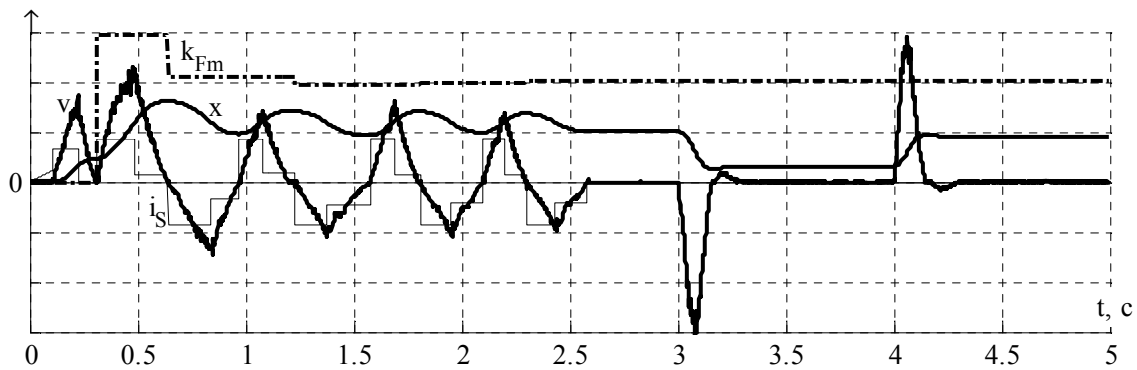


Рис. 4. Часові діаграми процесу автоматичного настроювання позиційної системи управління

Результати експериментальних досліджень свідчать про правильність теоретичних розробок. Величина коефіцієнту k_{Fm} визначається практично за 4 цикли настройки (рис. 4). Це підтверджують процеси регулювання положення при стрибках завдання в моменти часу $t = 3c$ та $t = 4c$.

Висновки

- 1) Розроблено принципи автоматичної настройки позиційної системи управління робототехнічним пристроєм із замкнутою кінематикою.
- 2) Виконані експериментальні дослідження підтвердили адекватність результатів ідентифікації параметрів об'єкта регулювання, на основі чого забезпечено визначення параметрів регуляторів і спостерігача стану позиційної системи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tsai L.-W. Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators. - New York: Wiley & Sons, 1999. - 505 p.
2. Старостін С.С., Сафонов А.П. Позиційне управління робототехнічним пристроєм із замкнутою кінематикою // Вісник Кременчуцького державного університету. – Кременчук: КДУ, 2010. - Вип. 3/2010 (62), част.1. - С. 41 - 44.
3. Старостін С.С. Оптимізація дискретних регуляторів та спостерігачів стану електромеханічних об'єктів // Електромашинобудування та електрообладнання: Міжвідомчий наук.-техн. збірник. - Київ: Техніка, 2004. - Вип.63. - С.17 - 25.
4. Старостин С.С. Автоматическая настройка микропроцессорного регулятора для тиристорного электропривода // Електромашинобудування та електрообладнання: Міжвідомчий наук.-техн. збірник. - К.: Техніка, 1999. - Вип.52. - С.35 - 41.