

Дослідження динамічних характеристик верстата з механізмом паралельної структури

С.І. Осадчий¹, В.А. Зозуля¹

Анотація – This article explores the dynamics of the mechanism with parallel kinematics with help of the definition of mathematical models describing the relationship between changes in control signals, disturbances and coordinate platform center of mass.

Ключові слова – Механізм з паралельною кінематикою, структурна ідентифікація, система керування.

I. ВСТУП

Механізми з паралельною кінематикою [1] складають основу для побудови маніпуляторів, верстатів, тренажерів тощо. Такий механізм (гексапод) складається з нерухокої основи, рухої платформи та шістьох штанг, кожна з яких може бути представлена у вигляді двох напівштанг та активної кінематичної пари. Дослідження динаміки механізмів з паралельною кінематикою полягає у визначенні математичних моделей, які характеризують зв'язок між змінами сигналів керування, збурень та координат центру мас платформи. Даний зв'язок характеризує система диференціальних рівнянь механізму, яка може бути визначена аналітично на основі положень теоретичної механіки та експериментально, шляхом ідентифікації структури та параметрів моделі в умовах наближених до реального режиму функціонування віртуальної моделі або дослідного зразка об'єкту. Вирішення поставленої задачі знайдене у результаті виконання трьох етапів:

- розробки алгоритму структурної ідентифікації багатовимірного динамічного об'єкту при регулярних вхідних сигналах;
- збору та обробки експериментальних даних про вектори сигналів керування u , вихідних координат гексаподу x та вектору збурень ψ ;
- аналізу зміни дисперсії вектора вихідних координат платформи гексаподу при випадкових змінах векторів u та ψ .

II. АЛГОРИТМ СТРУКТУРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

Нехай динаміка об'єкта ідентифікації характеризується матрицею передатних функцій W_u (рис.1), яка може мати нестійкі полюси.

Алгоритм структурної ідентифікації моделей динаміки нестійкої частини багатовимірного об'єкта шляхом аналізу регулярних складових векторів \hat{u}_p і \hat{x}_p передбачає виконання наступних операцій:

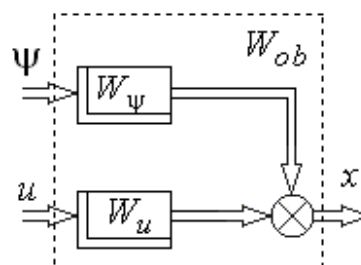


Рис.1. Структурна схема механізму з паралельною кінематикою

- пошук матриці W_2 разом з оберненою в результаті лівостороннього видалення тих нестійких полюсів з X_p , які відрізняються від полюсів U_p ;
- факторизація вагової матриці A ;
- визначення аналітичної у ППП комплексної змінної матриці D ;
- розрахунок $H_0 + H_+$ в результаті сепарації;
- обчислення Φ_{1p} на базі рівняння \hat{x}_p ;
- визначення W_{ob2} шляхом сепарації добутку з

$$W_u = W_2^{-1} \cdot \Phi_{1p}.$$

III. ДИНАМІКА МЕХАНІЗМУ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Для ідентифікації моделей динаміки були використані записи зміни компонентів векторів u , ψ та x , отримані у результаті моделювання поведінки платформи з допомогою віртуальної моделі. При цьому було розглянуто рух платформи, коли центр її мас O_1 залишався у площині симетрії маніпулятора $O_0X_0Y_0$. В результаті проведення обчислювального експерименту отримано масиви записів зміни усіх компонентів векторів, зазначених вище. Модель динаміки механізму у просторі станів отримана в результаті застосування інструменту System Identification Toolbox середовища Matlab версії 6.5 до вихідних даних, що сформовані на основі зазначених вище записів.

Отримані таким чином рівняння стану гексаподу з урахування структури вектору u_0 , мають наступний вигляд

$$\begin{aligned} \dot{y}(t) &= Ay(t) + B_u u(t) + B_\psi \psi(t), \\ x(t) &= Cy(t) + D_u u(t) + D_\psi \psi(t), \end{aligned} \quad (1)$$

¹ Кіровоградський національний технічний університет, пр. Університетський, 8, Кіровоград, 25006, УКРАЇНА, E-mail: irish38@ukr.net

Після розв'язання системи рівнянь відносно вектора вихідних координат механізму x отримані наступні матриці передаточних функцій об'єкта керування W_u та W_ψ (рис. 1)

$$W_u = C(sE_n - A)^{-1}B_u + D_u, \quad (2)$$

$$W_\psi = C(sE_n - A)^{-1}B_\psi + D_\psi. \quad (3)$$

Принцип перевірки точності ідентифікації полягає у порівнянні записів зміни координат центру мас рухомої платформи зі змінами вихідних координат, отриманими при подачі на вхід ідентифікованої моделі записів зміни довжини штанг та проєкцій моментів на вісі інерційної системи координат.

На схемі імітаційної моделі (рис. 2), яка реалізує даний принцип представлено ряд відповідних блоків. Блок u призначений для формування множини змін довжин штанг $l_{i,j}$. Блок m формує множини змін проєкцій моментів на вісі системи координат $O_0X_0Y_0Z_0$. На виході блоку xu формується вектор записаних при обчислювальному експерименті значень координат центру мас рухомої платформи гексаподу.

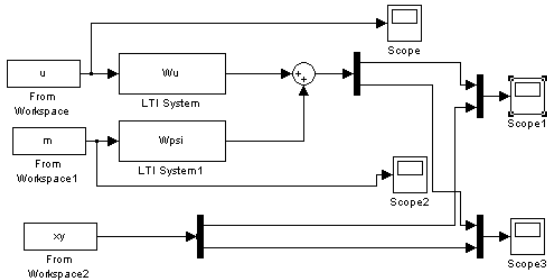


Рис.2. Схема імітаційної моделі механізму з паралельною кінематикою

За результатами моделювання побудовані графіки, представлені на рис. 3, рис. 4, які підтверджують достатню точність ідентифікації моделей динаміки механізму з паралельною кінематикою.

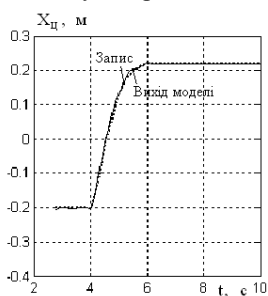


Рис.3. Графіки зміни координати X центру мас платформи

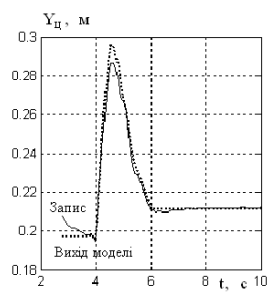


Рис.4. Графіки зміни координати Y центру мас платформи

IV. ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ СИГНАЛІВ КЕРУВАННЯ ТА ЗБУРЕНЬ

Кількісною мірою впливу сигналів керування та

збурень на координати платформи може виступити суми певним чином зважених дисперсій вихідних вектору x , які у частотній області можуть бути визначені за формулами [2]

$$\delta_x^u = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr} \{ W_u S'_{uu} W_u \} ds, \quad (4)$$

$$\delta_x^\psi = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr} \{ W_\psi S'_{\psi\psi} W_\psi \} ds, \quad (5)$$

де S_{uu} – матриця спектральних щільностей зміни довжин штанг механізму розміру 3×3 ;

$S_{\psi\psi}$ – матриця спектральних щільностей зміни моментів сил опору у шарнірах механізму розміру 3×3 ;

Підстановка вихідних даних, до співвідношень (4) (5) та розрахунок інтегралів дали можливість визначити, що

$$\delta_x^u = 1.227 \text{ м}^2; \quad \delta_x^\psi = 1.385 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2. \quad \text{Таким}$$

чином, основний вплив на координати центру мас рухомої платформи здійснюють зміни керуючих дій.

V. ВИСНОВОК

У розділі поставлена та вирішена задача дослідження динамічних характеристик механізму паралельної структури. Що дало можливість отримати наступні наукові та практичні результати:

- обґрунтувати новий алгоритм структурної ідентифікації моделей динаміки багатовимірного рухомого об'єкта, у тому числі нестійкого, який дозволяє визначати структуру та параметри матриці передаточних функцій зазначеного об'єкта при регулярних векторах „вхід-вихід”;

- ідентифіковано три класи моделей динаміки механізму з паралельною кінематикою, які дають можливість застосовувати різні сучасні методи синтезу багатовимірних систем керування;

- показано, що механізм з паралельною кінематикою як об'єкт керування являє собою багатовимірний стійкий механічний фільтр з власною частотою близькою до 11 с^{-1} ;

- доведено існування суттєвих перехресних зв'язків між сигналами керування та збуреннями і координатами рухомої платформи, що викликає необхідність врахування змін зовнішніх моментів на положення платформи при визначенні структури та параметрів системи керування.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

[1] Merlet J.P. Parallel robots. Solid mechanics and its application / J.P. Merlet.// V.74 – Kluwer Academic Publishers, 2000. -394p.

[2] Азарсков В.Н. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: Монография / В.Н. Азарсков, Л.Н. Блохин, Л.С. Жигецкий / Под ред. Блохина Л.Н. – К.: Книжное издательство НАУ, 2006. – 440с. –Библиогр.: с.416-428.