

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ДЛЯ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН

В статті розглянуто побудовану модель маніпулятора паралельної структури з трьома ступенями вільності для координатно-вимірювальних машин та систему керування приводами її кінематичних ланцюгів.

Ключові слова: роботизований маніпулятор, система керування, моделювання, механізм з паралельною структурою, координатно-вимірювальна машина.

KLEPACH M

National University of Water Management and Environmental Management

MODELING OF CONTROL SYSTEM OF PARALLEL MANIPULATOR FOR COORDINATE MEASURING MACHINES

The rapid development of modern production can hardly be imagined without adequate evaluation of the properties of products at all stages of its production. An important place in this process is played by the measurement of various parameters of both raw materials, billets and the finished product. One of the most common types of quality control is to measure the mechanical parameters of materials and samples. Such processes often require time-consuming and time-consuming laboratory testing using specialized measuring devices. The current stage of the development of technology allows the execution of the same type of operations, or those where the person can not provide the required accuracy, repeatability or reproducibility in automatic mode. In the case of measurement of mechanical quantities or in the study of solid samples - specialized robotic complexes. Particularly important among them are coordinate measuring machines (CVMs), which are widely used to determine the dimensions and dimensions of parts, angles or profile

The article considers the developed model of the three-degree of freedom parallel structure manipulator for coordinate measuring machines and the control system of actuators of its kinematic chains.

Keywords: robotic manipulator, control system, simulation, mechanism with parallel structure, coordinate measuring machine.

Вступ. Стрімкий розвиток сучасного виробництва важко уявити без адекватної оцінки властивостей продукції на всіх етапах її виробництва. Важливе місце в даному процесі відіграють вимірювання різноманітних параметрів як сировини, заготовок так і вже готового продукту. Одним із найбільш поширених видів контролю якості є вимірювання механічних параметрів матеріалів та зразків. Такі процеси нерідко вимагають трудомістких та довготривалих лабораторних досліджень з використанням спеціальних вимірювальних пристроїв. Сучасний етап розвитку техніки дозволяє виконання однотипних операцій, або таких, де людина не може забезпечити необхідну точність, повторюваність або відтворюваність в автоматичному режимі. У випадку вимірювання механічних величин або при дослідженні твердих зразків – спеціалізованими роботизованими комплексами. Особливе місце серед них посідають координатно-вимірювальні машини (КВМ), що широко застосовуються для визначення габаритів та розмірів деталей, кутів чи профілю [1].

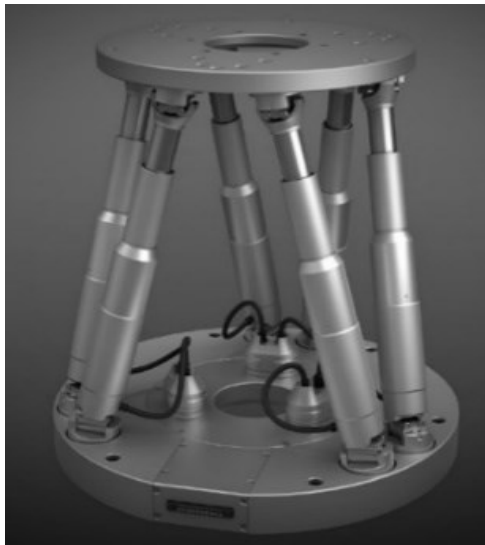
Сучасні КВМ, в більшості випадків, побудовані на основі роботизованих маніпуляторів, що переміщують вимірювальну головку відносно досліджуваної деталі та є складними апаратно-програмними комплексами з підвищеними вимогами щодо точності та швидкості позиціонування.

Виготовлення апаратної складової потребує значних ресурсів. Крім того, системи керування такими пристроями є досить складними, і часто містять інтелектуальні складові.

Отже, існує необхідність розробки моделей маніпуляторів для попереднього аналізу їх властивостей, розробки та тестування систем керування ними.

З точки зору механічної складової, в якості маніпуляторів для переміщення вимірювальної головки, зазвичай, використовують порталні та мостові конструкції. Більш прогресивними конструкціями є маніпулятори послідовної (типу рука), та паралельної кінематики (наприклад, трипод або гексапод), які інколи також класифікують як спеціальні роботи [2]. Маніпулятори з послідовною кінематикою широко застосовуються у промисловості. Однак, їх основним недоліком є невисока стійкість до механічних навантажень та низька жорсткість конструкції, що в свою чергу негативно відображається на точності позиціонування і вимірюваннях загалом. Використання механізмів паралельної структури передбачає, що кінцева ланка системи зв'язується з основою декількома замкнутими кінематичними ланцюгами, що сприймають навантаження як просторові ферми [3]. Типовими схемами маніпуляторів для координатно-

вимірювальних машин на основі механізмів паралельної структури є триподи (рис.1 а) та гексаподи (рис.1 б).



а)



б)

**Рис. 1. Маніпулятори для координатно-вимірювальних машин,
побудовані на основі механізмів з паралельною структурою:
а) трипод; б) гексапод.**

При цьому, рухома платформа може служити основою для наступної подібної ланки, котрі разом можуть утворювати «хобот», що значно розширює функціонал та коло можливих сфер застосування координатно-вимірювальних машин на основі механізмів з паралельною структурою. Крім того, використання таких конструкцій дає змогу розташовувати усі приводи за межами робочої зони, а отже і використовувати такі маніпулятори для досліджень у агресивних середовищах.

Таким чином, координатно-вимірювальні машини, побудовані на основі механізмів з паралельною структурою мають ряд суттєвих переваг з точки зору точності позиціонування, стійкості до навантажень, а також сфер застосування.

Побудова моделі маніпулятора. Відповідність моделі та реального пристрою характеризується рівнем абстрагування від реального об'єкту, тому, перед початком моделювання нам необхідно було проаналізувати та означити основні властивості об'єкту що в подальшому були надані моделі. Одним із способів такого аналізу є означення та групування складових механізму за їх функціями. Тому нами було здійснено функціональну декомпозицію [4] маніпулятора паралельної структури з трьома ступенями вільності та попередньо означено складові моделі. Таким чином, на даному етапі розробки моделі вона повинна мати наступні складові, що визначатимуть її властивості:

- фізичні властивості (густина, маса, геометричні розміри, прискорення вільного тяжіння);
- кінематика механічних складових;
- підсистема зворотного зв'язку (для отримання первинної інформації процесу моделювання);
- підсистема автоматичного керування приводами маніпулятора.

При розробці моделі маніпулятора паралельної структури для КВМ нами використано комплекс прикладного програмного забезпечення Matlab, зокрема пакет Simscape Multibody, що є частиною середовища моделювання Simulink. Це дає нам можливість реалізації фізичної моделі маніпулятора з урахуванням не лише геометричних розмірів її складових, але й інерційності системи, сили тяжіння, а також сил тертя між її складовими, тощо. Хоча програмне забезпечення дозволяє імпорт моделей із CAD-систем, однак має і власну потужну елементну базу для розробки моделей механічних, електромеханічних систем, тому модель створено за допомогою модифікованих графічних примітивів із вбудованої бібліотеки. Крім того, середовище Simulink забезпечує сумісність розробленої фізико-механічної моделі із засобами розробки та моделювання систем керування. Таким чином, властивості розробленої нами моделі повністю відповідають принципам, закладеним при функціональній декомпозиції.

Графічне представлення розробленої нами моделі маніпулятора паралельної структури для координатно-вимірювальних машин зображено на рисунку 2.

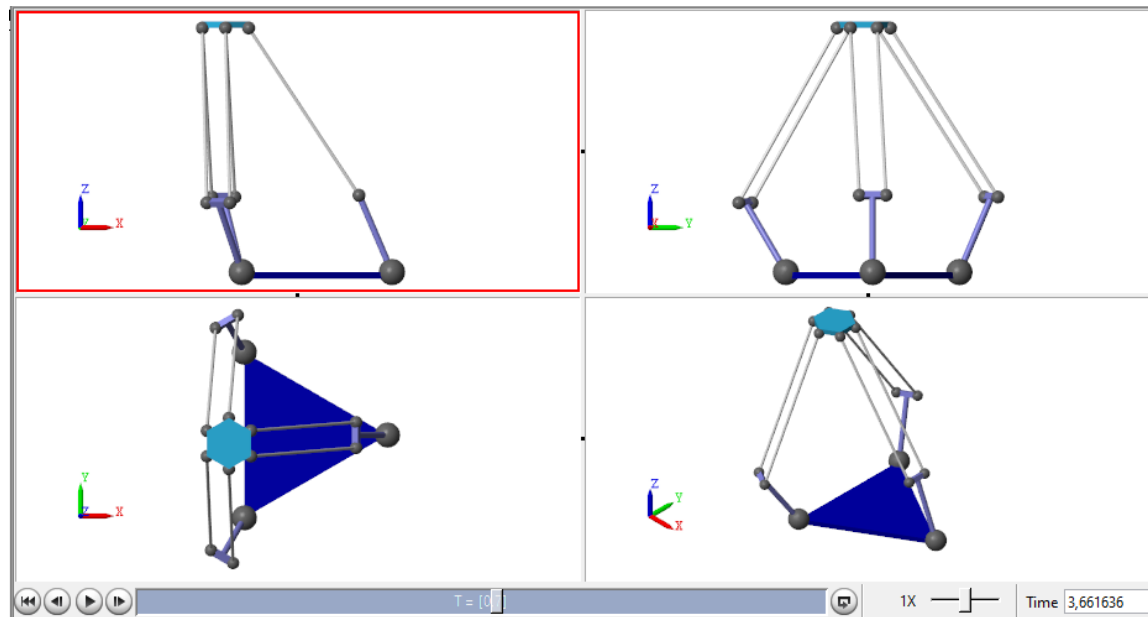


Рис. 2. Графічне представлення моделі маніпулятора паралельної структури для KBM

Таке представлення моделі дозволяє не лише відобразити графічний примітив моделі, а і візуально відслідковувати поведінку моделі у динаміці, що є важливим не лише на етапі розробки моделі а і в процесі її відлагодження, оптимізації системи керування, а також унаочнення отриманих експериментальних даних. Відповідно до функціональних ознак, модель розроблено у вигляді підсистем (рис. 3).

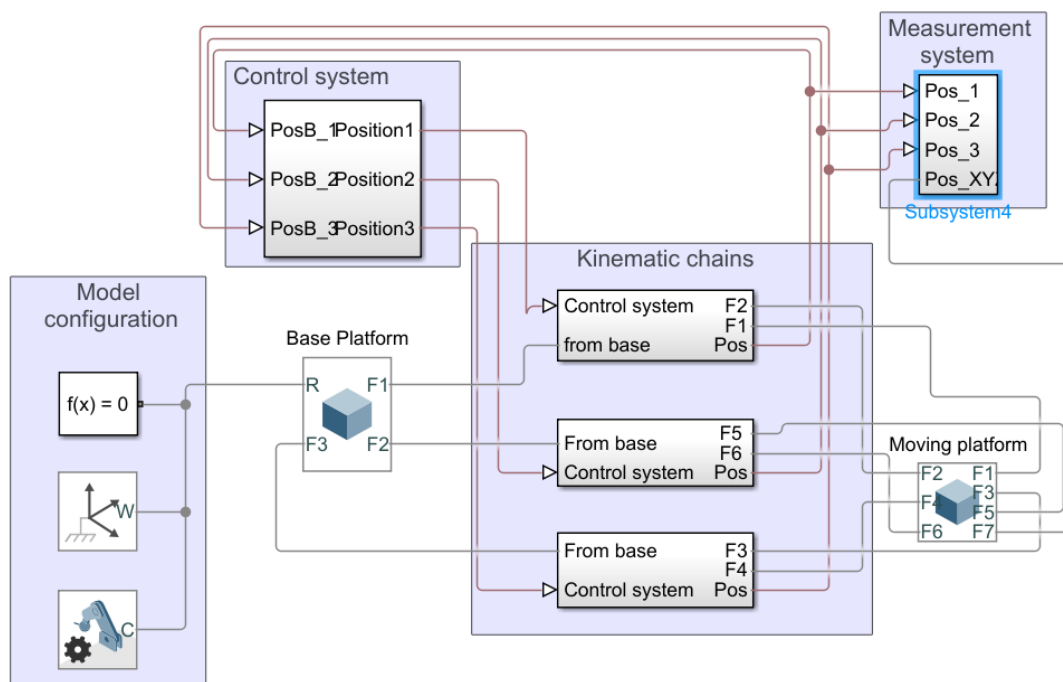


Рис. 3. Модель маніпулятора паралельної структури для координатно-вимірювальних машин у середовищі Simulink

Основою створення моделі є її конфігурація (Model configuration) з точкою відліку початкових координат, конфігурування механізму та налаштувань параметрів моделювання. Нерухома платформа (Base Platform) трикутної форми, як початкова ланка, сполучена з конфігурацією моделі, а її порти F1, F2, F3, що є вершинами трикутної нерухомої основи з'єднуються з підсистемами кінематичних ланцюгів (Kinematic chains), через які приводиться в дію рухома платформа (Moving platform).

Одну із підсистем кінематичних ланцюгів зображено на рис. 4

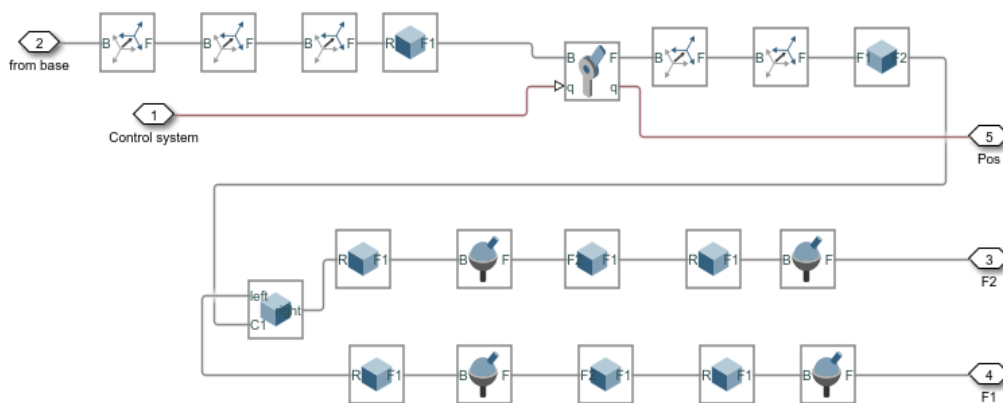


Рис 4. Підсистема реалізації кінематичного ланцюга у Simulink

Підсистеми кінематичних ланцюгів є ідентичними між собою, однак зміщені у просторі за допомогою відповідних блоків зсуву координат елементів моделі, а також включають комбіновані блоки графічних примітивів з фізичними властивостями. У відповідності до кінематики ланцюгів використовуються блоки шарнірних з'єднань з відповідними ступенями вільності та обмеженнями. Порти F1...F6 підключено до блоку реалізації функцій рухомої платформи. Через порти Pos передається поточний сигнал про поточний стан кута повороту приводного шарніру відносно нерухомої платформи до вимірювальної підсистеми, а також служить зворотним зв'язком для підсистеми керування рухом. Сигнал від системи керування рухом подається на шарнір з приводом через порт Control system.

Реалізація підсистеми керування рухом. Підсистема керування рухом (Control system) реалізована на базі трьох ПД-регуляторів з передаточними функціями приводів, а також містять блоки завдання та суматори для визначення розузгодження сигналу зворотного зв'язку та завдання. Враховуючи те, що кінематичні ланцюги є ідентичними між собою, ПД-регулятори містять однакові налаштування. Оптимізація регуляторів проводилася за допомогою вбудованих функцій блоків, що їх реалізують.

Перехідні характеристики оптимізованої підсистеми системи керування рухом зображено на рис. 5.

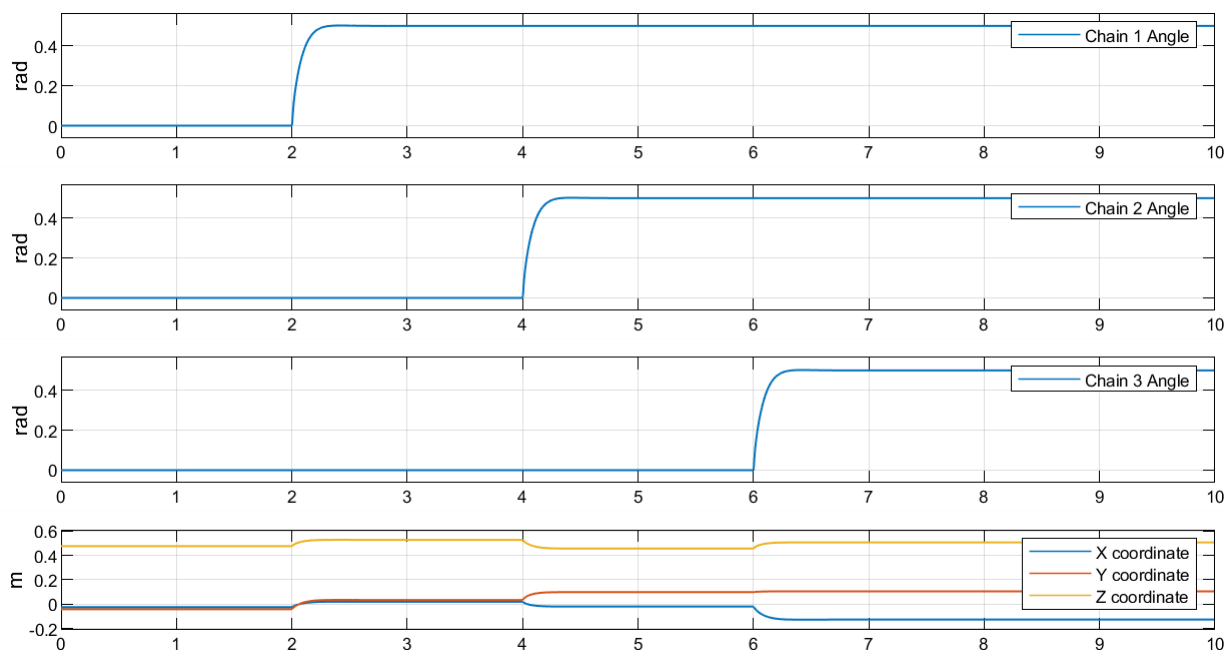


Рис. 5 Перехідні характеристики оптимізованої САК рухом маніпулятора паралельної структури

Під час моделювання на систему автоматизованого керування подавалося збурення у вигляді стрибкоподібної зміни завдання кута повороту привода кінематичного ланцюга з інтервалом 2с. В результаті отримано перехідні характеристики зміни кутів повороту приводних шарнірів в часі (Chain 1...3 Angle), а також абсолютні координати центру рухомої платформи відносно центру основи (X,Y,Z coordinate), що були

зафіксовані за допомогою підсистеми Measurement system. З рисунка видно, що процес є стійким, без перерегулювань, а час перехідного процесу не перевищує 0,3с, а отже, може бути використана для управління подібними пристроями.

Висновки. Таким чином, розроблена модель в подальшому може бути адаптована до маніпуляторів на основі механізмів з паралельною структурою різної маси, лінійних розмірів, приводів, тощо. Розроблена система автоматичного керування рухом маніпулятора паралельної структури задовольняє вимогам якості регулювання, тому в подальшому може бути використана при розробці дослідного зразка такого пристрою.

Література

1. Гапшис А.А., Каспарайтис А.Ю., Модестов М.Б. и др. Координатные измерительные машины и их применение. М., Машиностроение, 1988. с.102.
2. John A. Bosch Coordinate measuring machines and systems / John A. Bosch. США: M. Dekker, 1995. - 444 с.
3. Hamid D Taghirad. Parallel robots : mechanics and control. CRC Press, 2013
4. Cunniff, P. F., Herrmann, J. W., Schmidt, L. C., Zhang, G., and Dally, J. W., 1998. Product Engineering and Manufacturing. College House Enterprises, LLC, New York, ch. Chapter 5: Functional Decomposition, pp. 81–93.

References

1. Gapshis A.A., Kasparajtis A.Yu., Modestov M.B. i dr. Koordinatnye izmeritelnye mashiny i ih primenenie. M., Mashinostroenie, 1988. s.102.
2. John A. Bosch Coordinate measuring machines and systems / John A. Bosch. SShA: M. Dekker, 1995. - 444 с.
3. Hamid D Taghirad. Parallel robots : mechanics and control. CRC Press, 2013
4. Cunniff, P. F., Herrmann, J. W., Schmidt, L. C., Zhang, G., and Dally, J. W., 1998. Product Engineering and Manufacturing. College House Enterprises, LLC, New York, ch. Chapter 5: Functional Decomposition, pp. 81–93.

Рецензія/Peer review : 18.09.2019

Надрукована/Printed : 02.01.2020