

УДК 681.516.73

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ ТЕРМІНАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ

Ю.А. Нечитайло, асистент, ХНАДУ

Анотація. Розглянуто особливості розробки моделі розподіленої системи термінального керування робототехнічним комплексом. Побудовано експериментальну модель системи термінального керування. Запропоновано характеристики виконавчої системи робота-маніпулятора.

Ключові слова: термінальне керування, робототехнічний комплекс, моделювання.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ

Ю.А. Нечитайло, ассистент, ХНАДУ

Аннотация. Рассмотрены особенности разработки модели распределенной системы терминального управления робототехническим комплексом. Построена экспериментальная модель системы терминального управления. Предложены характеристики исполнительной системы робота-манипулятора.

Ключевые слова: терминальное управление, робототехнический комплекс, моделирование.

FEATURES OF THE ALLOCATED SYSTEM OF TERMINAL CONTROL OF THE ROBOTICS COMPLEX

J. Nechitaylo, Assistant, KhNAHU

Abstract. Features of development of a model of the allocated system of terminal control by a robotics complex are considered. An experimental model of a system of terminal control is constructed. Characteristics of an executive system of a robot manipulator are offered.

Key words: terminal control, robotics complex, modeling.

Вступ

Розподілені системи автоматичного керування дуже широко застосовуються в багатьох сферах діяльності людини. Також це стосується систем, до складу яких входять дистанційно керовані роботи і маніпулятори, що відносяться до класу маніпуляційних робототехнічних систем.

Аналіз публікацій

Бурхливий розвиток промислової робототехніки, основною базою якої стали автоматично діючі маніпуляційні роботи з програмним керуванням, дозволив підійти до вирі-

шення одного з найбільш актуальних завдань – виключення ручної праці людини зі сфери виробництва. При цьому не тільки забезпечується підвищення продуктивності за рахунок інтенсифікації технологічних процесів, але й істотно поліпшується якість проведених робіт, підвищується надійність виконання операцій [1].

Системи дистанційного керування в першу чергу орієнтовані на роботу в екстремальних умовах, що висуває додаткові вимоги до підвищення точності роботи складних робототехнічних пристроїв. Підвищити точність керування можна за рахунок використання принципів термінального керування [2].

Поняття про рівні керування в робототехніці було вперше введено Є.П. Поповим [3] і є узагальнюючим як для роботів з автоматичним керуванням, так і для дистанційно керованих маніпуляційних роботів.

Наведено структурні схеми двигуна, отримані на основі його диференціальних рівнянь [4]. Однак технічна реалізація системи керування на базі таких структур виявляється складною, тому доцільно визначити передавальну функцію двигуна, попередньо дослідивши експериментально або розрахувавши на ЕОМ перехідні процеси в ньому.

Проведений аналіз показав, що нині проблемі вибору системи дистанційного керування слід приділяти більше уваги.

Мета і постановка задачі

Метою роботи є аналіз особливостей концепції та програмного забезпечення для розподіленої системи термінального управління (РСТУ) технічним об'єктом [5]. Цього можна досягти шляхом розробки моделей розподіленої системи термінального керування робототехнічним комплексом.

Основні задачі дослідження:

- аналіз основних методів та рівнів дистанційного керування;
- моделювання виконавчої системи робота;
- імітація роботи розподіленої системи термінального керування в реальних умовах.

Основні методи та рівні дистанційного керування

Відмітною ознакою дистанційно керованих маніпуляційних роботів, яка однозначно виділяє їх зі всього сімейства робототехнічних систем, є обов'язкова участь людини-оператора у процесі керування їх діями. Здатність людини до швидкої орієнтації в робочій обстановці, аналізу навколишнього середовища, прийняття рішень та вибору алгоритмів виконання технологічних операцій, формування раціональних законів руху в процесі роботи – всі ці природні для неї можливості достатньо складно реалізуються навіть за допомогою найдосконаліших систем сприйняття інформації і керуючих систем з елементами штучного інтелекту.

Саме цим визначається необхідність використання дистанційного керування для вико-

нання нетипових і складних технологічних операцій у недетермінованих умовах робочої зони. Очевидно, що дистанційне керування виявляється єдиною можливим способом забезпечення функціонування маніпуляційних роботів у середовищах, недоступних для людини або небезпечних для її здоров'я.

Ієрархічну схему робототехнічної системи можна достатньо однозначно представити у вигляді чотирьох основних рівнів керування (рис. 1.)

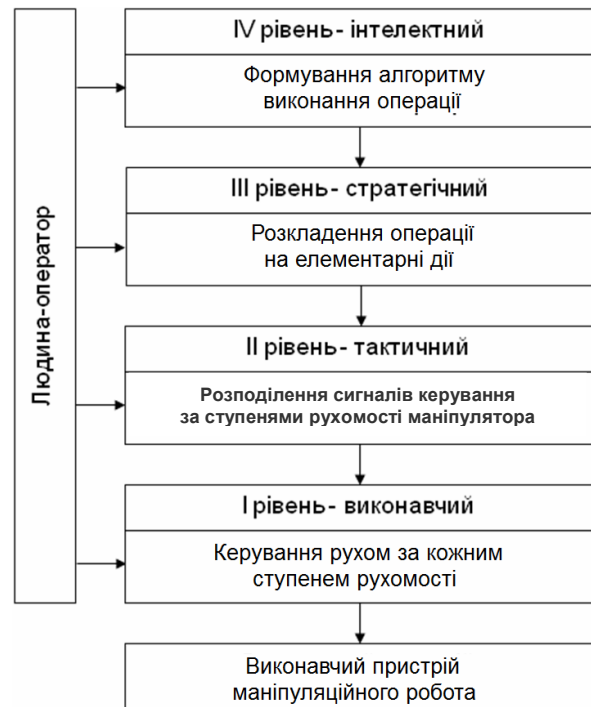


Рис. 1. Узагальнена схема дистанційного керування маніпуляційним роботом

Перший рівень керування, званий виконавчим, забезпечує організацію керування рухом окремо за кожним ступенем рухливості виконавчого пристрою маніпуляційного робота. Розподіл сигналів керування за ступенями рухливості здійснюється на другому – тактичному рівні керування. Тому вхідною інформацією для нього є траєкторія і закон руху кінцевої точки маніпулятора, тобто робочого органа, в окремому випадку – захопного пристрою.

Формування траєкторій і законів руху маніпулятора при виконанні елементарної операції відбувається на стратегічному рівні керування шляхом розчленовування операції на елементарні дії та рухи. Отже, вхідною інформацією на цьому рівні є формалізоване подання всієї операції в цілому.

На вищому, інтелектному рівні керування здійснюється формування алгоритму виконання кожної операції з урахуванням загальних завдань технологічного процесу й об'єктів в зоні проведення робіт.

Людина-оператор, яка володіє можливістю сприйняття, аналізу умов виконання робіт та прийняття рішення, може забезпечити керування на кожному з цих рівнів. Однак наявність будь-якого з верхніх рівнів керування ускладнює технічну реалізацію всієї робототехнічної системи, тому формування ієрархічної структури системи керування необхідно проводити з урахуванням можливостей її технічної реалізації для кожного об'єкта автоматизації технологічного процесу.

Основне завдання при розробці моделі буде полягати в моделюванні виконавчої системи робота, оскільки закон термінального керування буде розраховуватися саме для цієї підсистеми робототехнічного комплексу. Найбільш поширеними у робототехніці є електричні приводи на основі двигунів постійного струму аналогового типу. Однак широке використання керуючої обчислювальної техніки і, в першу чергу, мікропроцесорних систем призводить до необхідності вирішення задачі створення систем сполучення аналогових і цифрових сигналів та розробки силових керуючих перетворювачів. Для керування двигунами робота найбільш доцільним є використання сигналу з широтно-імпульсною модуляцією, що забезпечує найбільш економічний режим роботи підсилювача – імпульсний і дозволяє спростити канал виведення інформації від керуючої ЕОМ.

Одна з найважливіших вимог, що висуваються до виконавчих систем роботів-маніпуляторів, полягає в необхідності забезпечення високого ступеня їх надійності. Виконання цієї вимоги є особливо важливим у відношенні дистанційно керованих маніпуляційних роботів, призначених для роботи в екстремальних умовах, оскільки агресивне зовнішнє середовище справляє істотний вплив на конструктивні елементи маніпулятора. Найуразливішою, з цього погляду, ланкою виконавчої системи є електродвигун.

Найбільшим ступенем надійності в агресивних середовищах володіють електродвигуни, в конструкціях яких відсутні контактні комутаційні елементи. Одним з різновидів таких двигунів є трифазний електродвигун змінного

струму з короткозамкнутим ротором. Зазначені обставини і цілий ряд інших суттєвих переваг асинхронних електродвигунів викликають останнім часом підвищений інтерес розробників до створення і широкого впровадження виконавчих систем на основі цих двигунів. Синтез та дослідження таких систем мають свою специфіку. Розглянемо в загальному вигляді інженерний підхід до проектування виконавчих слідкувальних систем з асинхронним короткозамкнутим двигуном.

При виведенні диференціальних рівнянь асинхронної машини звичайно приймають такі припущення: фазні обмотки ротора виконані однаковими і розташовані по колу статора симетрично, повітряний зазор є рівномірним, машини мають синусні обмотки, і поле в повітряному зазорі визначається формою прикладеної напруги, поверхні ротора і статора вважаються гладкими, втрати у сталі не враховуються. Крім того, при дослідженні асинхронного двигуна, що живиться від перетворювача частоти, не враховується вплив вищих гармонік напруги живлення на роботу машини. У системі координат, що обертається з довільною швидкістю, диференціальні рівняння мають вигляд

$$\begin{cases} U_1 = i_1 r_1 + \frac{d\psi_1}{dt} + j\Omega_k \psi_1 \\ 0 = i_2 r_2 + \frac{d\psi_2}{dt} + j(\Omega_k - \Omega) \psi_2, \\ M_{\text{дв}} = \frac{3}{2} p_n L_m I_m (i_1 \times i_2^*) \end{cases} \quad (1)$$

де U_1 , i_1 , i_2 , – обертові вектори миттєвих значень напруги статора і струмів ротора відповідно; j – момент інерції; r_1 , r_2 – активні опори обмоток статора і ротора; ψ_1 , ψ_2 – обертові вектори миттєвих значень потокозчеплень статора і ротора відповідно; L_m – взаємна індуктивність статора і ротора; I_m – вектор струму намагнічування; $M_{\text{дв}}$ – вектор електромагнітного моменту двигуна; i_2^* – величина, комплексно спряжена з i_2 ; Ω – кутова швидкість ротора; p_n – число пар полюсів.

Проведемо чисельне моделювання та аналіз виконавчої системи робота - маніпулятора.

При аналізі виконавчих систем повною мірою проявляється сучасна тенденція – деталізований облік властивостей кожного еле-

мента системи при математичному описі – обумовлена в першу чергу тим, що ряд параметрів систем керування та їх елементів змінюється у процесі роботи. У зв'язку з цим широко використовується відображення сис-

тем диференціальних рівнянь, що описують системи керування, у вигляді математичних структурних схем. Будемо розглядати структурну схему виконавчої системи, представлену на рис. 2.

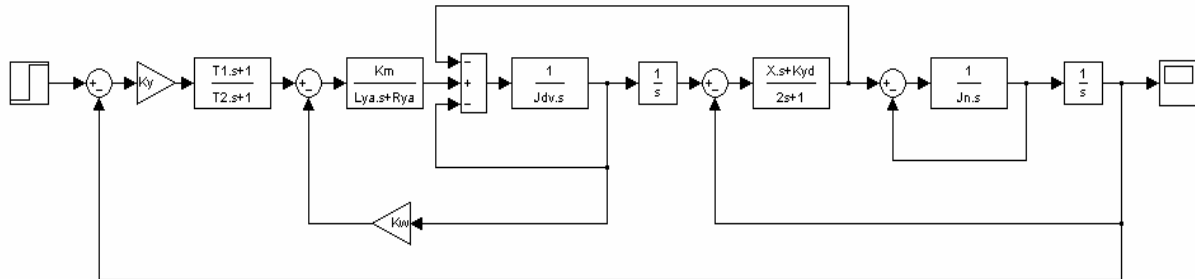


Рис. 2. Структурна схема виконавчої системи

На схемі прийнято такі позначення:

- $J_{\text{дв}}$ – момент інерції ротора двигуна і кінематичної передачі;
- $J_{\text{н}}$ – момент інерції навантаження;
- $\alpha_{\text{дв}}$ – кут повороту вала двигуна;
- $\alpha_{\text{н}}$ – кут повороту вала навантаження;
- $k_{\text{нд}}$ – коефіцієнт пружності кінематичної передачі;
- χ – коефіцієнт, що враховує втрати на деформацію;
- $R_{\text{я}}$ – активний опір ланцюга якоря;
- $L_{\text{я}}$ – індуктивність ланцюга якоря;
- k_{ω} – коефіцієнт проти-ЕРС;
- $k_{\text{М}}$ – коефіцієнт крутного моменту;

– T_1, T_2, k_y – коефіцієнти ланки послідовної корекції.

При чисельному моделюванні виконавчої системи було використано пакет Matlab з підсистемою імітаційного моделювання Simulink. При моделюванні було прийнято такі значення параметрів виконавчої системи: $k_{\text{н}} = 1,5$; $T_1 = 0,12$; $T_2 = 0,002$; $k_{\text{М}} = 0,02$; $L_{\text{я}} = 0,004$; $R_{\text{я}} = 0,4$; $J_{\text{дв}} = 0,001$; $\chi = 0,2$; $k_{\text{нд}} = 10$; $J_{\text{н}} = 0,001$; $k_{\omega} = 0,2$.

Реакцію системи на одиничний стрибок представлено на рис 3.

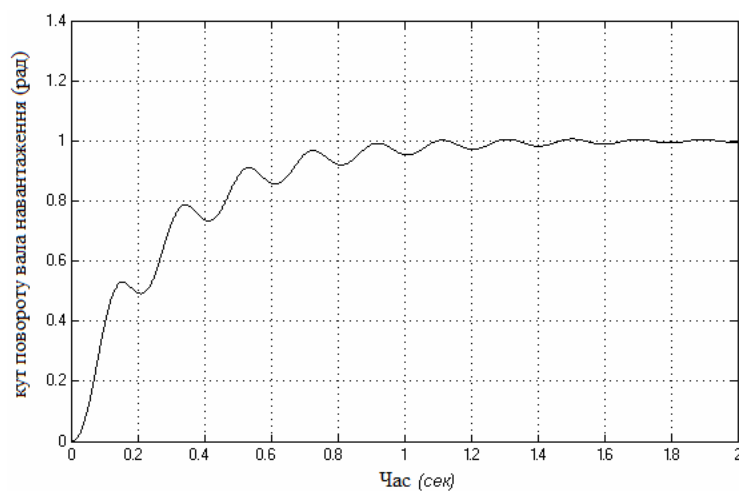


Рис. 3. Реакція виконавчої системи на одиничний стрибок

Проведемо розрахунок термінального керування. Для цього скористаємося функцією, що реалізує обчислення коефіцієнтів термінального керування.

Вид керування, яке необхідно подати на вхід виконавчої системи, визначається співвідношенням

$$u(t) = 0.0075t^2 - 0.00025t^3. \quad (2)$$

Графічну залежність керуючої функції від часу наведено на рис. 4, а реакцію системи на це керування на рис. 5.

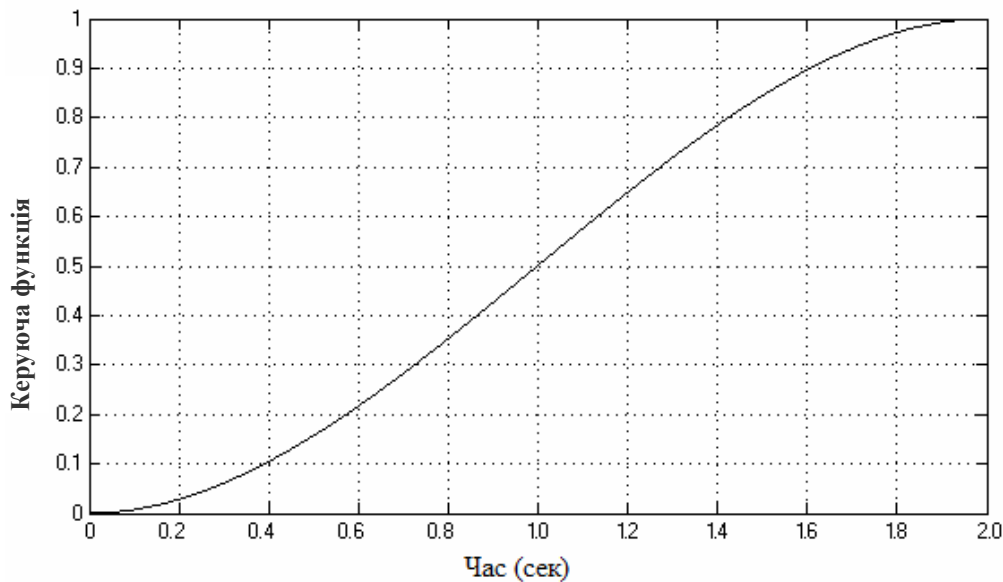


Рис. 4. Керуюча функція

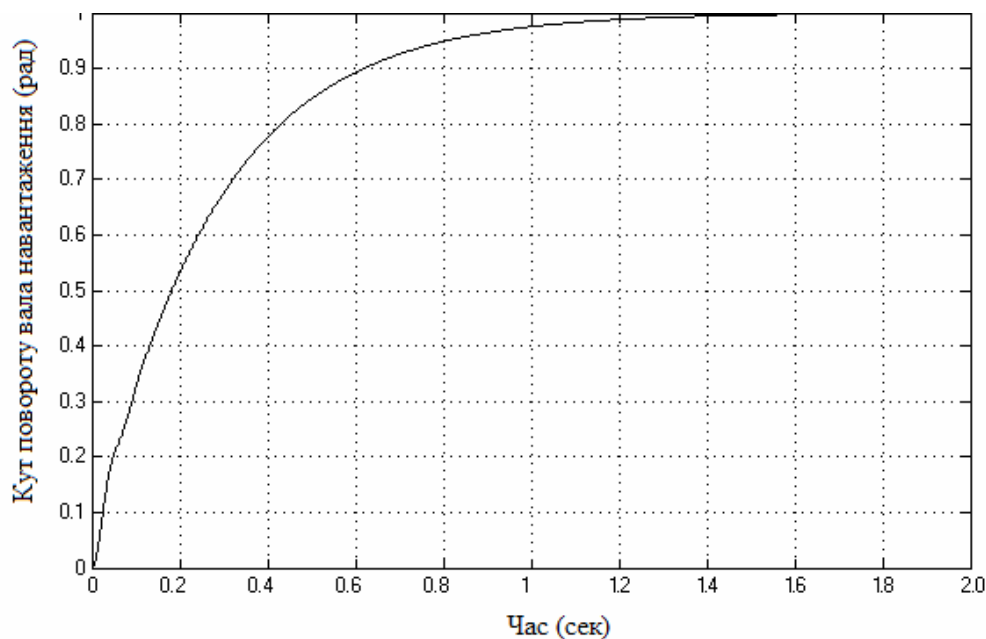


Рис. 5. Реакція виконавчої системи на керуючу функцію

Порівнюючи результати моделювання, представлені на рис. 3 та 4, можна зробити висновок про те, що синтезоване термінальне керування дозволило поліпшити вихідну характеристику виконавчої системи робота-маніпулятора.

Висновки

В результаті проведеного аналізу виявлено, що задача розробки програмного забезпечення для розподіленої системи термінального керування технічним об'єктом в загальному випадку ускладнюється багатозначністю та суперечливістю різних параметрів і характеристик системи.

Проведено аналіз основних методів та рівнів дистанційного керування.

Розробка моделі виконавчої системи робота та імітація роботи розподіленої системи термінального керування проведені в середовищі інженерних розрахунків Matlab.

Така система може бути ефективно використана при вирішенні завдань, пов'язаних з побудовою систем автоматичного керування, що функціонують в екстремальних умовах.

Література

1. Кулешов В.С. Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы / В.С. Кулешов, Н.А. Лакота, В.В. Андрюнин и др.; под общ. ред. Е.П. Попова. – М.: Машиностроение, 1986. – 328 с.
2. Козырев В.Г. Терминальная ошибка почти точного оптимального приведения в ноль / В.Г. Козырев // Динамические системы: межвед. науч. сб. – 2001. – Вып. 17. – С. 18 – 22.
3. Медведев В.С. Системы управления манипуляционных роботов / В.С. Медведев, А.Г. Лесков, под ред. Е.П. Попова. – М.: Наука, 1978. – 416 с.
4. Рапопорт Э.Я. Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами / Э.Я. Рапопорт. – М.: Высш. шк., 2005. – 292 с.
5. Батанов А.Ф. Робототехнические комплексы для обеспечения специальных операций / А.Ф. Батанов, С.Н. Грицынин, С.В. Муркин // Специальная техника. 1999. – №6. – 532 с.

Рецензент: В.О. Алексієв, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 19 березня 2012 р.