

УДК 621.3:681.5

С.О. ВОДЯНИЦЬКИЙ, В.Г. ДЖУЛГАКОВ, К.І. РУДЕНКО

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна

РОЗРОБКА БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Розглянуто принципи побудови електромеханічної частини безпілотного транспортного засобу на основі двоприводної платформи. Отримано математичні моделі приводів і руху платформи. Побудовано функціональну схему системи управління платформою. Розраховано цифровий регулятор.

безпілотний транспортний засіб, двоприводна платформа, датчик випромінювання, мікропроцесорний регулятор

Вступ

Роботи і гнучкі робототехнічні системи є найважливішою технічною основою розвитку виробництва. З кожним роком розширюється застосування робототехнічних систем. За їх допомогою освоюються нові технологічні процеси, що звільняють людей від багатьох видів стомливої, одноманітної, часом важкої ручної праці, у тому числі і в шкідливих для здоров'я умовах. Широкий спектр застосування роботів — це військова, пошуково-рятувальна і медична сфери.

Об'єкт, що розглядається у даній роботі, відноситься до класу безпілотних автоматичних транспортних засобів і являє собою рухому двоприводну платформу. Метою дослідження є отримання математичної моделі робота, дослідження його характеристик, формування вимог і функціональної схеми цифрового регулятора.

Область застосування даної розробки досить широка: промислові ділянки зі шкідливими або небезпечними умовами, збирання інформації у важких кліматичних і бойових умовах, виконання задач розмінування, дезактивації місцевості тощо. Даний робот реалізований як система пошуку цілі й спостереження за нею. Основним параметром для алгоритму наведення є максимальне значення інфрачервоного випромінювання. В системі управління реалізовано також можливість обминання механічних перешкод.

1. Побудова електромеханічної частини об'єкта управління

Робот, досліджуваний у даній роботі, являє собою рухому платформу з двома двигунами постійного струму, розміщеними на одній (задній) осі. Управління двигунами незалежне. Колеса передньої осі платформи вільно переміщуються, два поворотних важелі з'єднує бічна тяга, яка забезпечує вільний бічний рух платформи. Функціональну схему електромеханічної частини робота зображено на рис. 1.

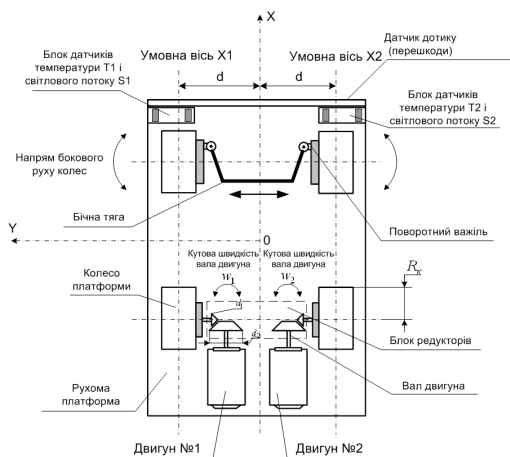


Рис. 1. Функціональна схема електромеханічної частини платформи (робота)

Однією із задач функціонування системи є ідентифікація об'єкта наведення, рух у напрямку до нього та об'їзд перешкод на її шляху. Об'єктами наведення для системи управління робота виступають випромінювання світла і теплове випромінювання (перелік може бути розширений за рахунок підключення різноманітних датчиків).

Результатом роботи системи управління є рух платформи на світлове і теплове випромінювання. Величиною, що регулюється, є значення просторового переміщення робота. Величинами, пропорційно пов'язаними з просторовим переміщенням робота, є зміна температурного фону і світлового потоку, отриманих від джерел випромінювання. Датчик дотику, встановлений на корпусі робота, дозволяє ідентифікувати перешкоди на шляху. Для вимірювання цих величин у даній системі застосовують два датчики температури навколишнього середовища T_1 і T_2 , два інфрачервоні датчики світлового випромінювання S_1 і S_2 .

2. Математичні моделі приводів і руху платформи

На першому етапі роботи були експериментально отримані статичні та динамічні характеристики обох приводів системи. На основі цих даних отримано передавальну функцію використаних двигунів постійного струму за управляючою дією:

$$W_{Дв}(s) = \frac{\omega(s)}{U_d(s)} = \frac{k_d}{T_{ем}s + 1} = \frac{31,652}{0,36s + 1}; \quad (1)$$

$$k_d = 31,652 \frac{1}{В \cdot с}; \quad T_{ем} = 0,36 с.$$

Відповідно час перехідного процесу $t_{пп} = 3 \dots 4 T_{ем}$, $t_{пп} \approx 1 с$.

Двигуни мають різні статичні характеристики, і це має бути враховане під час формування закону керування рухом платформи.

Розраховано також математичну модель двоприводної платформи. Було проведено комплекс вимірювальних заходів щодо платформи: вимірювали маси двигунів і платформи, діаметри коліс і вала двигунів, розраховували коефіцієнти передачі редукторного блока платформи і т.ін. На основі цих даних складено диференціальне рівняння руху подовжньої осі платформи

$$m_{пл} \ddot{x}(t) + \mu \dot{x}(t) = \frac{m_я \cdot r_я^2}{2} \cdot \frac{1}{R_{вала}} \cdot Z \cdot \dot{\omega}(t). \quad (2)$$

Передавальна функція руху подовжньої осі платформи, тобто об'єкта управління (ОУ):

$$W_{ОУ}(s) = \frac{x(s)}{\omega(s)} = \frac{1}{m_{пл}} \cdot \frac{K}{(s^2 + \frac{\mu}{m_{пл}} \cdot s)};$$

$$W_{ОУ}(s) = \frac{x(s)}{\omega(s)} = \frac{0,0025}{(s^2 + 0,8 \cdot s)}. \quad (3)$$

3. Функціональна схема системи управління платформою

Об'єктом управління в спроектованій системі є рухома платформа. Для вимірювання положення платформи відносно джерел випромінювання та зовнішніх об'єктів у системі застосовують два датчики світлового випромінювання, два датчики температури навколишнього середовища і два датчики дотику, розміщені з боків рухомої платформи (рис.1). Виконавчими механізмами в системі є два двигуни постійного струму (привод системи). Кутова швидкість вала кожного з двигунів має бути пропорційна значенню світлового потоку або температурного фону. Формування бажаного положення платформи у кожен момент будемо здійснювати на основі методу рівносигнального наведення. Управління швидкістю обертання роторів двигунів має здійснювати цифровий регулятор на основі інформації з датчиків світлового потоку й температури середовища. Для забезпечення автономного руху платформи всі вказані функціональні елементи слід розмістити безпосередньо на ній. На основі цих положень було сформовано функціональну схему системи управління рухомою платформою (роботом), яка показана на рис.2.

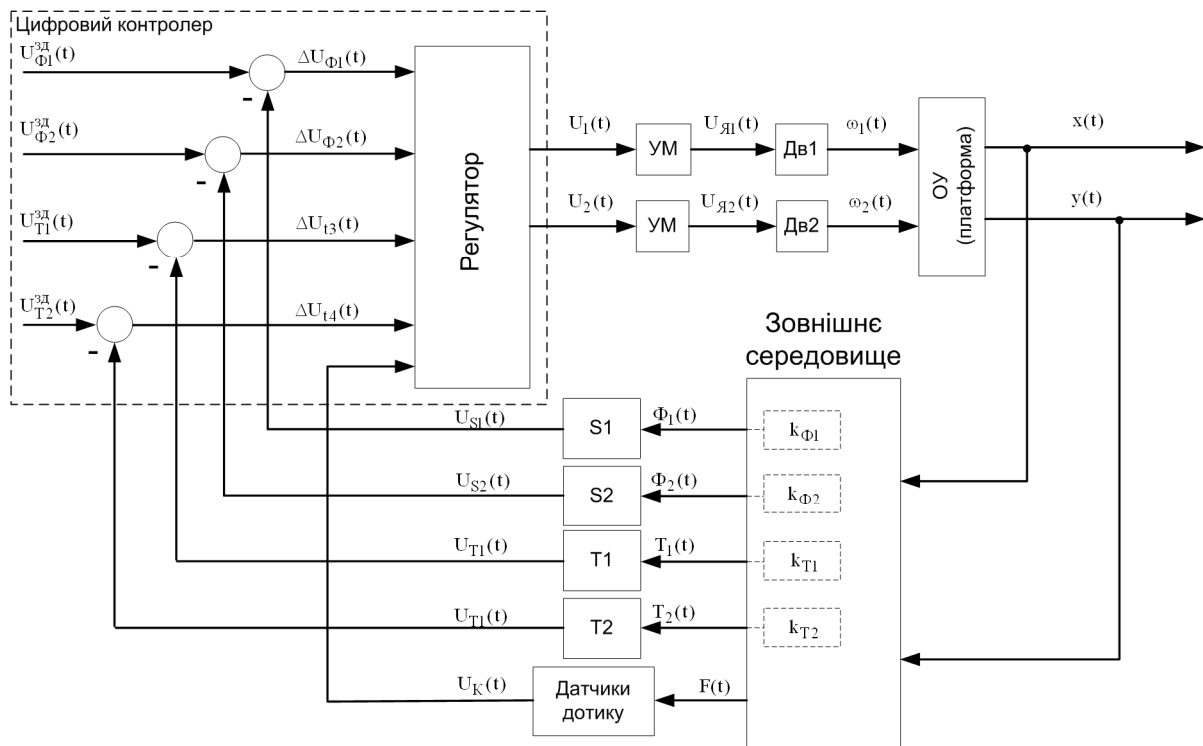


Рис. 2. Функціональна схема системи управління рухомою платформою (роботом)

Для побудови експериментальної установки були застосовані датчики світлового потоку (фотодіоди ФД256) із коефіцієнтом передачі

$$k_D = \frac{4\text{В}}{670\text{лм}} = 0,006 \text{ В/лм}. \quad (4)$$

Коефіцієнт передачі перетворювального елемента у зворотному зв'язку системи, що пов'язує світловий потік з відстанню до джерела світла:

$$k_{\text{ПЕос}} = \frac{670\text{лм}}{3,35\text{м}} = 200 \text{ лм/м}. \quad (5)$$

Коефіцієнт передачі підсилювача потужності обраний з умови забезпечення заданої точності. Використовуємо теорему про кінцеве значення оригіналу помилки:

$$k_{\text{УМ}} = 1,8. \quad (6)$$

На основі всіх цих даних розраховано математичну модель замкненої системи автоматичного управління.

Передавальна функція замкненої системи управління за задаючою дією:

$$W_{\text{замк}}(s) = \frac{x(s)}{\Phi_{\text{зад}}(s)} = \frac{W_{\text{УМ}}(s) \cdot W_{\text{ИМ}}(s) \cdot W_{\text{ОУ}}(s)}{1 + W_D(s) \cdot W_{\text{УМ}}(s) \cdot W_{\text{ИМ}}(s) \cdot W_{\text{ОУ}}(s)}. \quad (7)$$

У числовому вигляді:

$$W_{\text{замк}}(s) = \frac{x(s)}{\Phi_{\text{зад}}(s)} = \frac{0,00085}{(0,36s + 1) \cdot (s^2 + 0,8s) + 0,17}. \quad (8)$$

Особливість даної системи наведення полягає в тому, що будь-яке відхилення від кута курсу на джерело світлового або теплового випромінювання ініціює відповідні зміни контролером величини управляючих сигналів, і, як наслідок, зміну кутової швидкості обертання вала двигуна. При цьому ОУ позиціонується на даний нульовий кут курсу.

4. Розрахунок цифрового регулятора

Наступним етапом проектування є розрахунок цифрового регулятора. Виходячи з умов забезпечення стійкості системи розраховано період квантування для дискретної САУ робота, з

урахуванням умови забезпечення заданої точності і вимог теореми Котельникова:

$$T = 10^{-1} \text{с} < \frac{\pi}{(2 \dots 3) \cdot \omega_{\text{ср}}}. \quad (9)$$

При даному періоді квантування $T_0 = 0,1 \text{с}$, передавальна функція цифрового регулятора має вигляд:

$$W_{\text{ЦР}}(z) = \frac{\Delta\Phi_3(z)}{U_{\text{ЦР}}(z)} = \frac{3,723z - 3,301}{z - 0,8187}. \quad (10)$$

Передавальна функція замкненої цифрової САУ має вигляд

$$W_{\text{зам}}(z) = \frac{x(z)}{\Phi_{\text{зад}}(z)} = \frac{0,3 \cdot z^3 - 1,9 \cdot z^2 - 1,7 \cdot z - 0,5}{z^4 - 3,4z^3 + 4,5z^2 - 2,6z + 0,6}. \quad (11)$$

Отримано різницеве рівняння вхід-вихід цифрового регулятора мікропроцесорної САУ відповідно до методу нормальної канонічної форми:

$$U_{\text{ЦР}}[k] = 0,2 \cdot \Delta\Phi_3[k] - 0,2 \cdot \Delta\Phi_3[k-1] + 0,8 \cdot U_{\text{ЦР}}[k-1], \quad (12)$$

де k — номер такту квантування при періоді квантування $T_0 = 0,1 \text{с}$.

Дане рівняння, що реалізує алгоритм управління регулятора, має бути запрограмовано в мікропроцесорний пристрій САУ для реалізації цифрового регулятора (ПД-регулятора). Частота роботи процесора мікроконтролера становить 8 МГц, тривалість одного машинного циклу становить 0,125 мкс.

На наступному етапі було спроектовано мікроконтролерний блок САУ робота, розроблено повний алгоритм функціонування системи. Проведено експериментальні дослідження різних схем приєднання датчиків до МК-блока системи. Щоб САУ не реагувала на постійну складову частоти випромінювання світла, вирішено використати спеціальний випромінювач послідовності ШІМ-сигналів (розроблено та

виготовлено електричну схему) з частотою 0,25...0,51 кГц й амплітудою 5В, та розроблено спеціальну електричну перетворювальну схему прийняття й обробки сигналу, що випромінюється. Відповідно до узагальнюючого критерію вибору і експериментальних досліджень схем-сполучень ІЧ-датчиків із МК блоком системи, обрано датчик з найбільшими показниками чутливості й дальності дії.

Період дискретності алгоритму управління становить 16 мс, під час якого відбувається прийом, аналіз і обробка зовнішньої імпульсної послідовності сигналів з інфрачервоних датчиків світлового випромінювання по входах переривань INT0 та INT1. Період розрахунків і порівнянь становить 0,15 мс, під час якого відбувається формування керуючих сигналів на привід системи, реалізація руху платформи робота (формування керуючих ШІМ-сигналів на двигуни постійного струму). Чотири таймери мікроконтролера настроєні на інтервал перевантаження 16 мс, який обумовлює період ШІМ, скважність змінюється програмно, записом в регістри OCRx.

Аналіз і обробка інформації з датчиків дотику системи відбувається асинхронно, в будь-який момент роботи алгоритму.

Електрична принципова схема МК-блока системи розроблена в системі OrCAD Capture, відповідно до задачі і алгоритму управління — спеціалізоване програмне забезпечення; відповідно до електричної принципової схеми — схема печатної плати в системі OrCAD Layout. Спеціалізоване програмне забезпечення мікропроцесорної системи розроблювали в інтегрованому середовищі розробки AVR Studio 4. Програмування МК відбувається безпосередньо в цільовій системі через послідовні інтерфейси SPI і JTAG. При налагодженні роботи системи використовувався інтерфейс внутрішньосхемного

налагодження відповідно до стандарту IEEE 1149.1 (JTAG AVR).

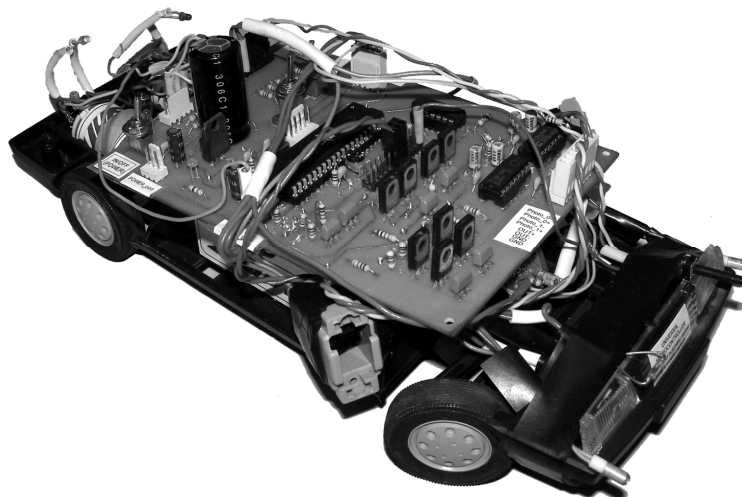


Рис 3. Діючий макет безпілотного транспортного засобу

На рис. 3 показано вигляд діючого макета робота.

Висновки

На завершальному етапі розроблено технологічний процес виготовлення печатної плати МК-блока безпілотного транспортного засобу, виготовлено печатну плату, запрограмовано мікроконтролер, виготовлено фізичний прототип системи та проведено експериментальне дослідження функціонування робота, яке підтверджує теоретичні розрахунки.

Проведено також експериментальні дослідження роботи системи зі зміною задач керування. Завдяки інтерфейсу внутрішньосхемного програмування мікроконтролера робот виконує багатий спектр задач, залежно від завантаженого до пам'яті програмного забезпечення. У цілому спроектована та виготовлена мікропроцесорна система автоматичного управління безпілотного транспортного засобу функціонує згідно з алгоритмом управління, відповідає вимогам забезпечення необхідної точності, надійності й стійкості.

Система працює в автоматичному режимі, функціонує згідно із заданим алгоритмом управління, який заздалегідь записується в пам'ять мікропроцесорного пристрою робота.

Система має вільні канали, через які можливе підключення інших датчиків до мікропроцесорної системи як з аналоговими, так і з цифровими виходами, що дозволяє розширяти блок вимірювань. Основу мікропроцесорного блока складає мікроконтролер серії AVR ATmega16, який має достатній обсяг пам'яті й тактову частоту процесора для реалізації складних алгоритмів роботи системи.

Література

1. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп.: Пер. с англ. Б.И. Копылова. — М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. — 832с.
2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «ATMEL» — М.: Изд. дом «Додэка-XXI», 2004. — 560с.

Надійшла до редакції 21.02.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. Г. Сухорєбрий, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАІ», Харків.