

УДК 519.6: 681.3

¹Лисенко О.І., д.т.н.,
²Тачиніна О.М., д.т.н.,
³Самсоненко С.Г.,
¹Сушин І.О.

МЕТОДИКА НАЛАШТУВАННЯ ЦИФРОВИХ РЕГУЛЯТОРІВ ПРИВОДІВ РОБОТІВ З УРАХУВАННЯМ КОРЕГУВАННЯ ЇХ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

¹Національний технічний університету України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

²Національний авіаційний університет

³Інститут спеціальної техніки та судових експертиз

Вступ

Робототехніка проходить черговий етап бурхливого розвитку. Завдяки штучному інтелекту сучасні роботи здатні самостійно набувати нових навичок, необхідних для вирішення поставлених завдань, поступово виконуючи все більшу кількість рутинної роботи [2,6,9].

Так, останнім часом, для виконання широкого кола задач все частіше застосовуються антропоморфні роботи [5,6]. Антропоморфні роботи завдяки своїй будові дозволяють виконувати ті ж самі завдання, що й людина, а це означає, що у небезпечних місцях можна замінити людину роботом. Саме з цих причин їх можна використовувати при пожежах, землетрусах та інших надзвичайних ситуаціях.

Однією з основних частин будь-якого антропоморфного робота є привід, без якого він не зможе виконати жодного руху [2,5,6]. Приводи дозволяють ланкам антропоморфного робота здійснювати обертовий та лінійний рухи, рух без цілі або точне позиціонування. При чому, чим більше ступенів свободи руху робота, тим більша кількість приводів. Так, кількість приводів у сучасного антропоморфного робота може досягати кількох десятків. У зв'язку з цим, задача керування приводами робота перетворюється на досить серйозне технічне завдання, вирішити яке без використання сучасних цифрових регуляторів дуже складно. При цьому постає задача на-

лаштування параметрів цифрових регуляторів, які б забезпечили необхідну якість роботи приводу та ланок антропоморфного робота.

Постановка задачі

Узагальнена цифрова система автоматичного керування рухами антропоморфного робота (під цим терміном в подальшому будемо розуміти не лише людиноподібного робота, а й людиноподібний екзоскелет) є ієрархічною і складається із декількох рівнів[1-5].

На найвищому 5-му рівні (рівень організації) виконується загальна організація процесів керування різнорідними групами маніпуляторів та групами пристроїв переміщення (педипуляторами), тобто виконується узгодження дій груп різнорідних об'єктів керування (ОК). Дії цих груп збалансовуються за енергетичними та інформаційними ресурсами.

На 4-му рівні (рівень координації) узгоджується взаємодія декількох однорідних або різнорідних ОК в межах окремої групи. Виконується координація процесів функціонування ОК, спрямована на підтримку номінальних (розрахункових) показників діяльності груп ОК в межах окремої групи.

На 3-му рівні (рівень оптимізації) виконується оптимізація програми керування рухами окремих ОК. В результаті цієї оптимізації мінімізується споживання ресурсів та енергії, максимізується ефективність функціонування окремого ОК.

На 2-му рівні (рівень контролю) реалізується операція контролю за роботою окремого ОК. При цьому спостерігається і прогнозується стан ОК, фіксується порушення значення дозволених меж зміни параметрів ОК, обслуговуючому персоналу передається інформація про можливість виникнення аварійної ситуації. Приймається рішення стосовно подолання аварійної ситуації завдяки переходу до аварійного або кризового керування.

На 1-му рівні (рівень керування) здійснюється безпосереднє керування рухами приводів окремих ланок маніпуляторів та педипуляторів. Об'єктом керування для першого рівня є саме ці окремі ланки. Керування відбувається за інформацію про вектор стану саме цих окремих ланок та за інформацією про вхідну керуючу дію, що надходить з вищих рівнів керування.

Зазвичай для керування окремою ланкою робота по одному ступеню рухливості використовується двоконтурна цифрова система автоматичного керування (ЦСАК), в кожен з контурів якої включено цифровий пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД)-регулятор [1,3,4].

Структура та параметри алгоритму корекції динамічних властивостей приводу ланки розраховуються за відомими номінальними характеристиками цього приводу (тобто, за його номінальною ЛТІ – математичною моделлю).

Три параметри (коефіцієнти передачі за пропорційним, інтегральним і диференціальним сигналами) алгоритму ПІД-регулювання для внутрішнього контуру і три аналогічних коефіцієнта для зовнішнього контуру потребують налаштування. Таким чином, налаштуванню підлягає по шість параметрів у кожній ЦСАК ланкою робота за ступенем рухливості. З урахуванням всіх ЦСАК ланками робота за ступенем рухливості, загальна кількість параметрів, що потребує налаштування, буде дорівнювати 6 помножити на загальну кількість ступенів рухливості.

Враховуючи велику кількість параметрів, що потребують налаштування, не-

обхідна проста експрес методика, яка мінімізує час налаштування параметрів ЦСАУ ланкою робота за ступенем рухливості при забезпеченні необхідної якості керування.

В даній статті запропонована методика налаштування цифрових регуляторів приводів окремих ланок робота, з урахуванням корегування їх динамічних характеристик.

Викладення основного матеріалу

Загальна методика налаштування ЦСАК ланкою роботи за ступенем рухомості складається із методики її попереднього налаштування – це налаштування на математичній моделі привода та ланки за ступенем рухомості, і методики остаточного налаштування – це налаштування на реальному об'єкті. Запропонована методика попереднього налаштування. Це означає, що вихідними даними для даної методи є ЛТІ – математичні моделі приводів та ланок (тобто ці моделі повинні бути попередньо структурно та параметрично ідентифікованими) [8].

Як приклад вихідних даних розглянемо ЛТІ – математичну модель (рис.1), що описує динаміку руху приводу та ланки робочого органу антропоморфного робота, що використовується при пошуково-рятувальних роботах [1,3-4,7].

Параметрами, які необхідно налаштувати, є коефіцієнти передачі ЦПІД-регуляторів k_{pj}, k_{ij}, k_{dj} відповідно за пропорційним, інтегральним та диференціальним сигналами для першого ($j=1$) та другого ($j=2$) регуляторів. В якості критерію оптимальності обираємо усереднений на інтервалі спостереження T інтеграл від квадрату відхилення $\Delta_x(t)$ вихідного сигналу математичної моделі руху ланцюга робочого органу антропоморфного робота $x(t)$ від еталонної (бажаної) зміни в часі цього сигналу $x_b(t)$:

$$W(k_{p1}, k_{i1}, k_{d1}; k_{p2}, k_{i2}, k_{d2}) = \frac{1}{T} \int_0^T (\Delta_x(t))^2 dt, \quad (1)$$

де $\Delta_x(t) = x_b(t) - x(t)$.

В якості математичної моделі ета-лонного (бажаного) руху ланки робочого органу антропоморфного робота можливо використати будь-яку із відомих моделей [1,3-4,7]. Оберемо, наприклад, модель, що отримала назву „стандартна форма Баттерворта” третього порядку.

В якості методики – прототипу, яку пропонується покращити, розглянемо методику (метод) Зіглера- Ніколса [3,4]. В результаті застосування методики-протипу для налаштування ЦПД – регуляторів

внутрішнього та зовнішнього контурів ЦСАК швидкістю руху ланки робочого органу маніпулятора антропоморфного робота отримуємо такі значення коефіцієнтів передачі відповідно за пропорційним, інтегральним та диференціальним сигналами: $K_{p1}=15$; $K_{i1}=3.5$; $K_{d1}= 7.81$ (для внутрішнього контуру) та $K_{p2}= 9$; $K_{i2}=1.8$; $K_{d2}=5.6$ (для зовнішнього контуру). Результати моделювання перехідного процесу, що представлені на рис.1 та 2, показали наступне.

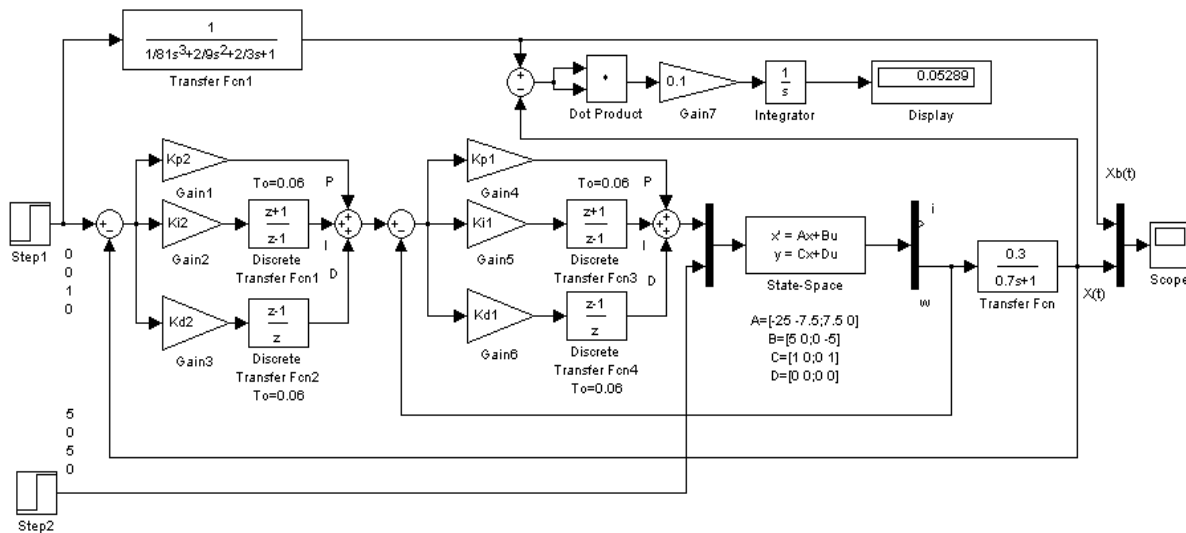


Рис. 1. Комп’ютерна математична модель двоконтурної цифрової системи керування рухом ланки робочого органу антропоморфного робота: K_{p1} , K_{i1} , K_{d1} та K_{p2} , K_{i2} , K_{d2} – коефіцієнти передачі пропорційного, інтегрального, диференціального сигналів відповідно ПД – егуляторів внутрішнього (1) та зовнішнього контурів (2); State Space та Transfer Fcn відповідно комп’ютерні ЛТІ неперервні математичні моделі типу MIMO для приводу та типу SISO для ланки робочого органу за степенем рухомості антропоморфного робота; i та w – відповідно електричний струм та швидкість механічного переміщення механізму приводу за степенем рухомості; Step1 та Step2 – відповідно керуючий сигнал для приводу та збурення, що на нього діє; Transfer Fcn1 – „стандартна форма Баттерворта” третього порядку; період дискретизації за часом $T_0=0.06$ с; тривалість часу моделювання $T= 10$ с.

Середня квадратична помилка W , що представлена на дисплеї (рис.1), дорівнює 0.05289 умовних одиниць (у.о.). Перехідний процес (рис.2) є коливальним із перерегулюванням, що майже у 5 разів перевищує бажане значення. Позитивним є той факт, що ЦСАК майже не реагує на ступінчате збурення (квазіінваріантність), яке діє на вході приводу починаючи з п’ятої секунди. Підкреслимо, що ЦСАК є квазіінваріантною (квазіадаптивною) завдяки використанню ЦПД-регулятору у кожному із двох контурів.

Перейдемо до розгляду запропонованої методики налаштування цифрових регуляторів приводів окремих ланок робота, з урахуванням корегування їх динамічних характеристик.

Методика складається із наступних етапів:

1-й етап – корекція динамічних властивостей приводу;

2-й етап – побудова алгоритмічного вимірювача вектору стану приводу (спостерігача стану);

3-й етап – вибір еталонної (бажаної) моделі зміни в часі перехідного процесу на виході цифрової системи керування приводом;

4-й етап – застосування методу Зіглера-Ніколса для пошуку першого наближення до оптимального значення параметрів ЦПД-регуляторів першого та другого контурів $k_{p10}, k_{i10}, k_{d10}, k_{p20}, k_{i20}, k_{d20}$. Ці значення використовуються на наступному етапі методики в якості початкових умов у чисельному методі оптимізації.

Четвертий етап складається з двох під етапів:

4.1. Налаштування першого ЦПД-регулятора лише для внутрішнього контуру і запам'ятовуванні знайдених значень $k_{p10}, k_{i10}, k_{d10}$;

4.2. Налаштування другого ЦПД-регулятора при умові, що у першому ЦПД-регуляторі використані раніше знайдені і запам'ятовані значення параметрів $k_{p10}, k_{i10}, k_{d10}$.

5-й етап – застосування будь-якого чисельного методу для пошуку мінімуму критерію (1) :

$$W \rightarrow \min_{k_{p1}, k_{i1}, k_{d1}; k_{p2}, k_{i2}, k_{d2}} \quad (2)$$

де оптимальне значення критерію та керуючих змінних будемо позначати \hat{W} та $\hat{k}_{p1}, \hat{k}_{i1}, \hat{k}_{d1}, \hat{k}_{p2}, \hat{k}_{i2}, \hat{k}_{d2}$.

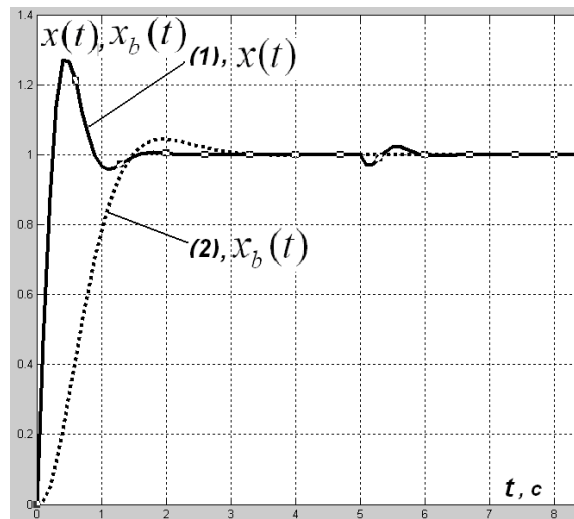


Рис. 2. Результат застосування методики Зіглера – Ніколса до комп'ютерної математичної моделі, що представлена на рис.1: перехідний процес та реакція на збурення (Step2 рис.1 на 5-й с) на виході ЦСАК швидкістю руху ланки робочого органу маніпулятора антропоморфного робота за ступенем рухомості (1) та його бажаний вигляд (2).

Підкреслимо, по-перше: початкові умови для алгоритму чисельної оптимізації визначаються на 4-му етапі методики (саме вдале перше наближення і гарантує швидку збіжність чисельного алгоритму оптимізації); по-друге: вже за межами даної методики виконуються додаткові дослідження впливу на роботу ЦСАК:

1) кроку квантування за рівнем у аналогово-цифровому та цифро-аналоговому перетворювачах;

2) чутливості знайденого оптимального розв'язку до зміни параметрів при-

воду та ланки. Ці зміни можуть бути, як детермінованими (відбуватися у відомі моменти часу і на відомі величини), так і випадковими.

Застосування запропонованої методики для налаштування цифрових регуляторів приводів ланок антропоморфного робота буде розглянуто в наступній статті.

Висновок

Запропонована методика полягає у комплексному застосуванні методів: корекції динамічних властивостей приводу; аналітичного вимірювання механічної складової вектору стану приводу; Зіглера

–Ніколса та чисельної оптимізації нульового порядку. Метод Зіглера –Ніколса дозволяє отримати початкові умови, які забезпечують швидке наближення до точки оптимуму при подальшому застосуванні чисельних методів нульового порядку.

Застосування запропонованої методики дозволить досягти плавності керування рухами за ступенями рухливості робота, які забезпечують його антропоморфність.

Література

1. Репнікова Н.Б. Теорія автоматичного керування: класика і сучасність: підруч. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 327 с.

2. Каргин А.А. Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы. – Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 с.

3. Дорф Р., Бишон Р. Современные системы управления. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.

4. Гудвин Г.К., Гребе С.Ф., Сальгадо М.Э. Проектирование систем управления. – БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004, – 913 с.

5. Яхно О.М., Узунов А.В., Луговской А.Ф. и др. Введение в мехатронику. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 528 с.

6. Брискин Е.С., Калинин Я.В., Артемьев К.С. Об устойчивости плоского движения мобильных роботов с шагающими движителями, работающими в "тянущем" режиме. Мехатроника, автоматизация, управление. – 2021. – Т. 22. – № 1. – С. 28-34.

7. Lysenko O., Alekseeva I. Application of the zero-order numerical method in the problems of parametric optimization in digital PID-regulators of drones. Mathematics in modern technical university. – 2019. – Vol. 2. – P. 64-72.

8. Круглов В.П., Дьяконов В.В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 448 с.

9. Романченко І.С., Лисенко О.І., Чумаченко С.М. та ін. Моделі застосування інформаційно-телекомунікаційних технологій на основі безпілотних авіаційних комплексів у надзвичайних ситуаціях. – К.: НАУ, 2016. – 263 с.

Лисенко О.І., Тачиніна О.М., Самсоненко С.Г., Сушин І.О.

МЕТОДИКА НАЛАШТУВАННЯ ЦИФРОВИХ РЕГУЛЯТОРІВ ПРИВОДІВ РОБОТІВ З УРАХУВАННЯМ КОРЕГУВАННЯ ЇХ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В даній статті запропоновано методику налаштування цифрових регуляторів приводів окремих ланок робота, з урахуванням корегування їх динамічних характеристик.

Запропонована методика полягає у комплексному застосуванні методів: корекції динамічних властивостей приводу; аналітичного вимірювання механічної складової вектору стану приводу; Зіглера –Ніколса та чисельної оптимізації нульового порядку.

Ключові слова: робот, цифровий регулятор, привід, оптимізація

Lysenko O.I., Tachynina O.M., Samsonenko S.G., Sushyn I.O.

METHOD OF SETTING UP DIGITAL ROBOTS DRIVE REGULATORS TAKING INTO ACCOUNT THE ADJUSTMENT OF THEIR DYNAMIC CHARACTERISTICS

This article proposes a technique for tuning digital controllers of drives of individual robot links, taking into account the correction of their dynamic characteristics.

The proposed technique consists in the complex application of the following methods: correction of the dynamic properties of the drive; analytical measurement of the mechanical component of the drive state vector; Ziegler-Nichols and zero-order numerical optimization.

Key words: robot, optimization, drive, digital controller, drive.