

¹Лисенко О.І., д.т.н.,
orcid.org/0000-0002-7276-9279,

²Тачиніна О.М., д.т.н.,
orcid.org/0000-0001-7081-0576,

³Семенов В.Г.,
¹Сушин І.О.,
orcid.org/0000-0003-4866-4351

МЕТОДИКА СИНТЕЗУ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ АНТРОПОМОРФНИМ РОБОТОМ

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

²Національний авіаційний університет

³Інститут спеціальної техніки та судових експертиз

lysenko.a.i.1952@gmail.com

tachinina5@gmail.com

icte@ssu.gov.ua

rubin268@gmail.com

Вступ

На сьогоднішній день активно ведуться розробки в галузі антропоморфної робототехніки. Антропоморфна робототехніка – це перспективний напрямок досліджень, що вивчає методи побудови людиноподібних роботів та їх керування [3,5]. Сучасні темпи розвитку антропоморфних робототехнічних систем обумовлені тенденцією заміни людини у виконанні потенційно небезпечної праці. Перед дослідниками стоїть ряд завдань, вирішення яких дозволить замінити людину у різних галузях діяльності, включаючи аварійно-рятувальні роботи, космічні місії, роботи в умовах радіації, під час пожеж, та природних катаклізмів. Одним із таких завдань є завдання керування роботом з високим ступенем точності виконання цільових операцій.

Задана точність виконання цільових операцій залежатиме від динамічних характеристик робочих органів робота таких як: прискорення, швидкість руху, точність позиціонування і т.д., які значною мірою будуть визначатись швидкодією приводів його ланок.

Тому, актуальною є задача, пов'язана з розробкою ефективних методів побудови систем автоматичного керування антропоморфними роботами і, зокрема, приводами окремих ланок, які б забезпечували задану точність виконання цільових операцій

В даній статті запропонована методика синтезу регуляторів для цифрової системи автоматичного керування антропоморфним роботом з урахуванням корегування динамічних характеристик приводів його окремих ланок.

Постановка задачі

Зазвичай для керування приводом окремої ланки робота по одному ступеню рухливості використовується двоконтурна цифрова система автоматичного керування (ЦСАК), в кожен з контурів якої включено цифровий пропорційно-інтегрально-диференційний (ПІД)-регулятор [1,3,6].

Вектор стану електроприводів складається як мінімум з двох компонентів, які мають різну фізичну природу. Одна компонента – це електричний струм або напруга. Інша компонента – це механічне переміщення чи швидкість. Вимірюючи

електричну складову вектора стану та використовуючи математичну модель приводу, можна з достатнім ступенем точності обчислити кількісне значення механічної складової вектора стану. Виміряні та обчислені сигнали використовуються в алгоритмі корекції динамічних властивостей приводу ланки та у внутрішньому контурі ЦСАК ланкою робота за ступенем рухливості. В якості алгоритмічного вимірювача передбачається використовувати або спостерігач Льюїнбергера, або оптимальний спостерігач типу фільтра Калмана. Застосування алгоритмічного вимірювача швидкості або координати механічного переміщення рухомої частини приводу дозволяє не використовувати спеціальних вимірювальних пристроїв і, тим самим, підвищити надійність та енергоефективність системи управління приводом.

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

Дана стаття присвячена викладенню методики зручної для практичного використання при параметричній оптимізації

за скалярним інтегральним критерієм багатоконтурних систем управління із цифровими ПІД-регуляторами.

Викладення основного матеріалу

В цілому загальна методика налаштування ЦСАК ланкою робота за ступенем рухомості складається із методики її попереднього налаштування – це налаштування на математичній моделі приводу та ланки за ступенем рухомості, і методики остаточного налаштування – це налаштування на реальному об'єкті. В даній статті 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) [1,4].

Як приклад вихідних даних розглянемо ЛТІ – математичну модель (рис.1), що описує динаміку руху приводу та ланки робочого органу антропоморфного робота [1,3,4,6].

Параметри, які необхідно налаштувати, це 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 еталонного (бажаного) руху ланки робочого органу антропоморфного робота можливо використати будь-яку із відомих моделей [1,2,4,6]. Оберемо, наприклад, модель, що отримала назву „стандартна форма Баттерворта” третього порядку.

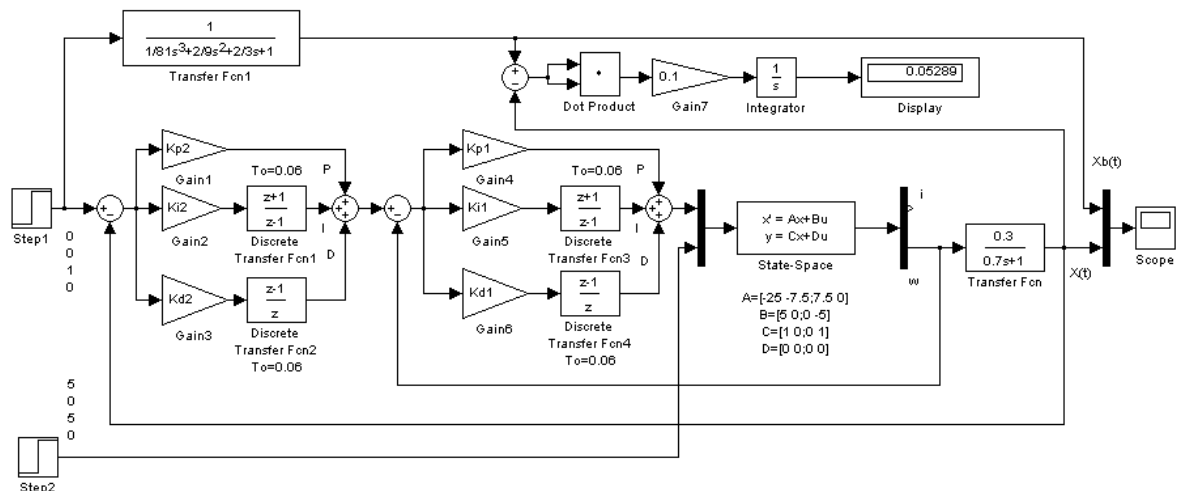


Рис. 1. Комп'ютерна математична модель двоконтурної цифрової системи керування рухом ланки робочого органу антропоморфного робота: K_{p1} , K_{i1} , K_{d1} та K_{p2} , K_{i2} , K_{d2} – коефіцієнти передачі пропорційного, інтегрального, диференціального сигналів відповідно ПІД – регуляторів внутрішнього (1) та зовнішнього контурів (2); State Space та Transfer Fcn відповідно комп'ютерні LTI неперервні математичні моделі типу MIMO для приводу та типу SISO для ланки робочого органу за ступенем рухомості антропоморфного робота; i та w – відповідно електричний струм та швидкість механічного переміщення механізму приводу за ступенем 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

В якості методики-прототипу, яку пропонується покращити, розглянемо методику (метод) Зіглера-Ніколса [1-2]. В результаті застосування методики-прототипу для налаштування ЦПІД – 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.2, показали наступне.

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-ть разів перевищує бажане значення. Позитивним є той факт, що ЦСАК майже не реагує на ступінчасте збурення (квазіінваріантність), яке діє на вході приводу починаючи з

п'ятої секунди. Підкреслимо, що ЦСАК є квазіінваріантною завдяки використанню ЦПІД-регулятора у кожному із двох контурів.

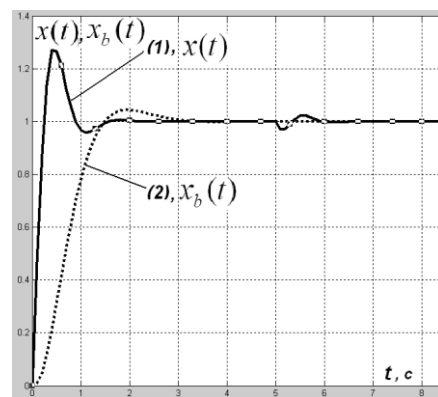


Рис. 2. Результат застосування методики Зіглера – Ніколса до комп'ютерної математичної моделі, що представлена на рис.1: перехідний процес та реакція на збурення (Step2 рис.1 на 5-й с) на виході ЦСАК швидкістю руху ланки робочого органу маніпулятора антропоморфного робота за ступенем рухомості (1) та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

Перейдемо до розгляду запропонованої методики налаштування цифрових

регуляторів приводів окремих ланок робота, з урахуванням корегування їх динамічних характеристик.

Методика складається із наступних етапів [6]:

1-й етап – корекція динамічних властивостей приводу;

2-й етап – побудова алгоритмічного вимірювача вектору стану привода (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 $\hat{k}_{p1}, \hat{k}_{i1}, \hat{k}_{d1}, \hat{k}_{p2}, \hat{k}_{i2}, \hat{k}_{d2}$.

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:

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

чутливості знайденого оптимального розв'язку до зміни параметрів приводу та ланки. Розглянемо результат застосування запропонованої методики на прикладі моделі (рис.3).

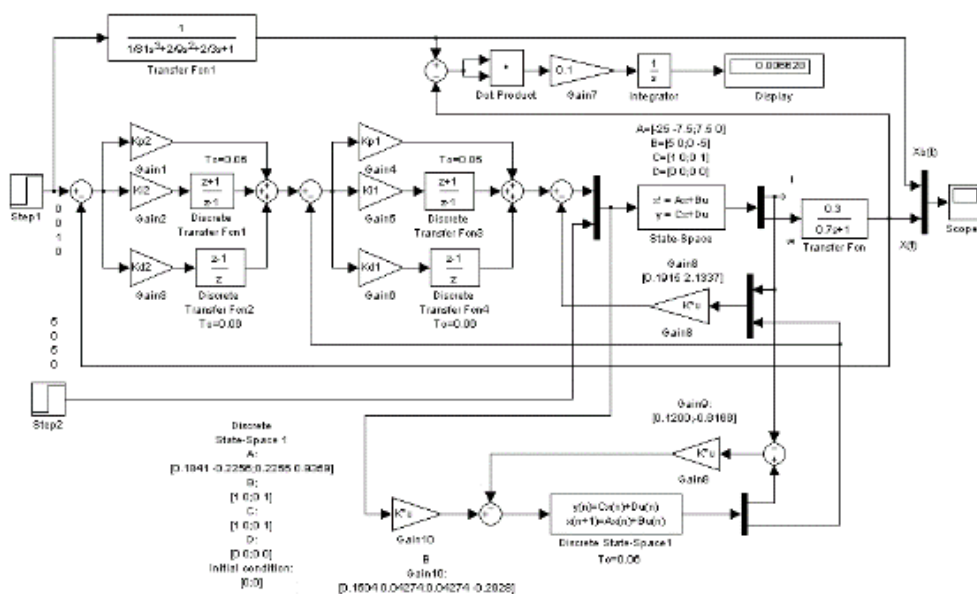


Рис. 3. Комп'ютерна математична модель двоконтурної цифрової системи керування рухом ланки робочого органу антропоморфного робота із цифровою корекцією динамічних властивостей (Gain8) та цифровим спостерігачем вектора стану привода (Gain9, Gain10, Discrete State Space1)

Перший етап. За відомою неперервною МІМО ЛТІ – математичною моделлю приводу ланки робочого органу антропоморфного робота за ступенем рухомості (рис.1) будуємо його дискретну МІМО ЛТІ – математичну модель: період дискретизації за часом $T_0 = 0.06$ с обираємо згідно рекомендацій [1-4] та застосовуємо до неперервної моделі функцію `s2d` системи комп'ютерної математики MATLAB+Simulink [4].

В результаті отримуємо

$$x(n+1) = A \cdot x(n) + B u(n),$$

$$y(n) = C \cdot x(n) + D \cdot u(n),$$

де

$A = [0.1841 \ -0.2256; 0.2256 \ 0.9359];$
 $B = [0.1504 \ 0.04274; 0.04274 \ -0.2928];$
 $C = [1 \ 0; 0 \ 1];$
 $D = [0 \ 0; 0 \ 0];$
 $T_0 = 0.06$ с .

Корекція динамічних властивостей приводу виконується алгоритмічно. Обчислюється матричний коефіцієнт корегуючого зворотного зв'язку і цифровий сигнал зворотного зв'язку подається у канал сигналу, що керує приводом (рис.3).

Завдяки дії корегуючого зворотного зв'язку відбувається зміна бажаним чином динамічних властивостей приводу. Математично динамічні властивості приводу задаються коренями характеристичного рівняння математичної моделі приводу. Припустимо, що обидва корені характеристичного рівняння математичної моделі скорегованого приводу повинні дорівнювати 0.5.

Виконаємо обчислення матриці коефіцієнтів корегуючого зворотного зв'язку в режимі макрокалькулятора із використанням функцій MATLAB [4]:

```
>> B1=[0.1504;0.04274]
B1 = 0.1504
    0.0427
>>K05= acker(A,B1,[0.5 0.5])
K05 = 0.1915  2.1337,
```

де K_{05} – матриця коефіцієнтів корегуючого зворотного зв'язку, яка реалізується за допомогою матричного підсилювача $Gain_8$ у комп'ютерній математичній моделі (рис.3).

Другий етап. Припустимо, що в якості алгоритмічного вимірювача вектору стану приводу (спостерігача стану приводу) обрано спостерігач Льюїнбергера [1,3,6].

Вхідною інформацією для цифрового спостерігача Льюїнбергера є цифровий сигнал із виходу цифрового датчика струму. Математично це означає, що матриця C у вихідній математичній моделі приводу набуває вигляду $C = [1 \ 0]$.

Виконаємо обчислення матриці коефіцієнтів спостерігача Льюїнбергера, які забезпечують збіжність результатів обчислень до істинних значень із покращенням результату у двічі на кожній ітерації (тобто задамо корені характеристичного рівняння спостерігача Льюїнбергера такими, що дорівнюють 0.5). Обчислення виконаємо у режимі макрокалькулятора із використанням функцій MATLAB [4]:

```
>> A=[0.1841 -0.2256;0.2256 0.9359]
A =
    0.1841  -0.2256
    0.2256   0.9359
>> C=[1 0]
C = 1  0
>> HT=acker(A',C',[0.5 0.5])
HT =0.1200  -0.6166
>> H05=HT'
H05 = 0.1200
    -0.6166,
```

де H_{05} – матриця коефіцієнтів підсилення, що використовується при побудові спостерігача Льюїнбергера. Ця матриця реалізується за допомогою матричного підсилювача $Gain_9$ у комп'ютерній математичній моделі (рис.3).

Третій етап. В якості моделі еталонної (бажаної) зміни в часі сигналу на виході ЦСАК швидкістю руху ланки робочого органу антропоморфного робота за ступенем рухомості обираємо сигнал, що діє на виході моделі стандартної форми Баттерворта третього порядку зменшивши при цьому час тривалості перехідного процесу в тричі.

Четвертий етап.

Перший підетап. За результатом застосування методу Зіглера-Ніколса [1,2]

отримано наступні значення параметрів першого ЦПД-регулятора для внутрішнього контуру (рис.3):

$K_{p1}=12$; $K_{i1}=2.8425$; $K_{d1}=6.3325$, тобто $k_{p10}=12$, $k_{i10}=2.8425$, $k_{d10}=6.3325$.

Другий підетап. За результатом застосування методу Зіглера-Ніколса отримано наступні значення параметрів другого ЦПД-регулятора для зовнішнього контуру (рис.3):

$K_{p2}=6$; $K_{i2}=0.2$; $K_{d2}=10$, тобто $k_{p20}=6$, $k_{i20}=0.2$, $k_{d20}=10$.

Підставимо обчислені значення параметрів першого та другого ЦПД – регуляторів до схеми моделювання (рис.3). В результаті комп'ютерного моделювання отримуємо перехідний процес (рис.4) та значення критерію

$W_0 = W(k_{p10}, k_{i10}, k_{d10}; k_{p20}, k_{i20}, k_{d20}) = 0.007846$ у.о.

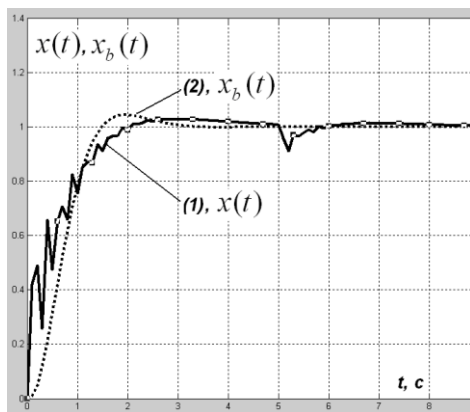


Рис. 4. Результат застосування методу Зіглера – Ніколса до комп'ютерної математичної моделі, що представлена на рис.3: перехідний процес та реакція на збурення (Step2 рис.3 на 5-й с) на виході ЦСАК швидкістю руху ланки робочого органу маніпулятора антропоморфного робота за ступенем рухомості (1) та його бажаний вигляд (2)

П'ятий етап. Для остаточного налаштування (оптимізації) параметрів ЦПД-регуляторів (рис.3) розв'язуємо задачу (2) із використанням чисельного методу нульового порядку, який носить назву метод Хука-Дживса [1-2]. Нагадаємо, що в якості початкових умов в методі Хука-Дживса використовуємо значення параметрів ЦПД – регуляторів, які було обчислено при виконанні четвертого етапу методики.

В результаті отримуємо оптимальні: перехідний процес на виході ЦСАК (рис.5); точку у шестивимірному просторі параметрів, які налаштовувалися $\hat{k}_{p1}=5$, $\hat{k}_{i1}=1.8425$, $\hat{k}_{d1}=4.3325$; $\hat{k}_{p2}=5$, $\hat{k}_{i2}=0.18$, $\hat{k}_{d2}=3$ та оптимальне значення критерію у цій точці $\hat{W}(\hat{k}_{p1}, \hat{k}_{i1}, \hat{k}_{d1}; \hat{k}_{p2}, \hat{k}_{i2}, \hat{k}_{d2}) = 0.006628$ (рис.3).

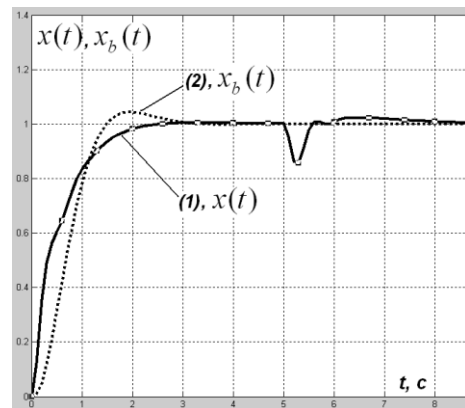


Рис. 5. Результат применения предложенной методики настройки многоконтурных цифровых регуляторов приводов роботов с корректируемыми динамическими характеристиками: перехідний процес та реакція на збурення (Step2 рис.3 на 5-й с) на виході ЦСАК швидкістю руху ланки робочого органу маніпулятора антропоморфного робота за ступенем рухомості (1) та його бажаний вигляд (2)

Порівняльний аналіз результатів застосування методу (методики) Зіглера-Ніколса та запропонованої методики

Запропонована у статті методика дозволяє отримати на виході ЦСАК швидкістю руху ланки робочого органом антропоморфного робота за одним ступенем рухливості аперіодичний перехідний процес близький до бажаного (рис.5). Застосування лише методу Зіглера-Ніколса призводить до коливального перехідного процесу з великим перерегулюванням (рис.2). Поліпшення перехідного процесу досягнуто завдяки алгоритмічній корекції динамічних характеристик приводу та уточненню значень (оптимізації за критерієм (1) з використанням чисельного методу) параметрів ЦПД – регуляторів.

Для порівняльної оцінки якості квазіінваріантності цифрових регуляторів, що налаштовуються за методом Зіглера-Ніколса і за запропонованою методикою, був виконаний імітаційний експеримент. Суть експерименту полягала в тому, що при моделюванні в обох комп'ютерних моделях (рис.1 та рис.3) на вхід приводу на 5-й секунді подавалося однотипне ступінчасте збурення (Step2 на рис.1 та рис.3).

Квазіінваріантність досягається при застосуванні кожної з методик налаштування ЦПД – регуляторів. Це пояснюється тим, що якість квазіінваріантності обумовлено структурою регулятора (застосування в обох контурах ЦПД – регуляторів). Але кількісні показники ефекту квазіінваріантності відрізняються. Амплітуда відхилення від вихідного стаціонарного стану та інтервал часу повернення до стаціонарного стану приблизно вдвічі менше у ЦСАК, яка налаштовувалась лише за методом Зіглера-Ніколса (рис.2), порівняно з ЦСАК, яка налаштовувалась за запропонованою методикою (рис.5). Однак, інтегральний показник (1) із усередненням на інтервалі часу в 10 с (враховується і характер перехідного процесу та реакція на ступінчасте збурення) для ЦСАК з налаштуванням за запропонованою методикою в $W/\hat{W} = 0.05289/0.006628 = 7.9753$ раз краще, ніж при застосуванні лише методу Зіглера-Ніколса.

Необхідно відмітити те, що спільне використання методу корекції динамічних властивостей приводу і методу Зіглера-Ніколса призводить до зменшення середньоквадратичної помилки в $W/W_0 = 0.05289/0.007841 = 6.7453$ рази. Але, при цьому, у перехідному процесі виникає тримерний ефект (високочастотні коливання, рис.4). Позбутися цих коливань вдається завдяки застосуванню методу чисельної оптимізації критерію (1).

Застосування алгоритмічного спостерігача вектора стану приводу (спостерігач Льюинбергера) дозволяє обчислювати механічну координату вектора стану приводу та використовувати обчислене значення і в алгоритмі корекції динамічних

властивостей приводу, і у ЦПД – регуляторі внутрішнього контуру ЦСАК швидкості руху ланки робочого органу антропоморфного робота за одним ступенем рухомості.

Висновок

1. Запропонована методика полягає у комплексному застосуванні методів: корекції динамічних властивостей приводу; аналітичного вимірювання механічної складової вектору стану приводу за допомогою алгоритму спостерігача Льюинбергера; 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. Якщо початкові умови задавати випадковим чином, то це призводить, у більшості випадків, до нестійкості ЦСАК і неможливості алгоритмічно обчислювати значення критерію оптимізації.

2. Розрахунки підтвердили високу ефективність запропонованої методики порівняно із випадком застосування лише методу Зіглера-Ніколса. В розглянутому прикладі середня квадратична помилка відхилення перехідного процесу на виході цифрової системи керування швидкістю руху ланки робочого органу антропоморфного робота за одним ступенем рухомості, за яким оцінювалась якість налаштування, зменшилася майже у 8 разів.

3. Хронометраж виконання всіх дій, пов'язаних із застосуванням запропонованої методики показав, що час налаштування обох ЦПД регуляторів збільшується не більше, ніж на 5-10% у порівнянні з часом налаштування тільки за методом Зіглера-Ніколса.

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

Література

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

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

3. 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.

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

5. Романченко І.С., Лисенко О.І., СМ Чумаченко С.М. та ін. Моделі застосування інформаційно-телекомунікаційних технологій на основі безпілотних авіаційних комплексів у надзвичайних ситуаціях. Методика налаштування цифрових регуляторів приводів роботів з урахуванням корегування їх динамічних характеристик. – К.: НАУ, 2016. – 263 с.

6. Тачиніна О.М., Лисенко О.І., Самсоненко С.Г., Сушин І.О. Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць. – К.: НАУ, 2021. – №67 (3). – С. 41-45.

Лисенко О.І., Тачиніна О.М., Семенов В.Г., Сушин І.О.

МЕТОДИКА СИНТЕЗУ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ АНТРОПОМОРФНИМ РОБОТОМ

Запропонована методика синтезу регуляторів для цифрової системи автоматичного керування антропоморфним роботом. Дана методика полягає у комплексному застосуванні декількох відомих методів. Метод корекції дозволяє побудувати алгоритм корекції, що покращує динамічні властивості приводу окремих ланок антропоморфного робота. Метод Зіглера – Ніколса дозволяє отримати перше наближення до оптимального значення параметрів цифрових пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів внутрішнього та зовнішнього контурів цифрової системи автоматичного керування швидкістю руху робочого органу за окремим ступенем рухомості антропоморфного робота. Чисельний метод застосовується для параметричної оптимізації цифрових пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів за обраним критерієм.

Ключові слова: робот, цифровий регулятор, привід, оптимізація

Lysenko O.I., Tachinina O.M., Semenov V.H., Sushyn I.O.

TECHNIQUE FOR TUNING DIGITAL CONTROLLERS OF ROBOT DRIVES, TAKING INTO ACCOUNT THE CORRECTION OF THEIR DYNAMIC CHARACTERISTICS

The method of synthesis of regulators for digital system of automatic control of anthropomorphic robot is offered. This technique consists in the complex application of several known methods. The correction method allows you to build a correction algorithm that improves the dynamic properties of the drive of individual parts of the anthropomorphic robot. The Ziegler-Nichols method allows to obtain the first approximation to the optimal value of the parameters of digital proportional-integral-differential controllers of the inner and outer contours of the digital system of automatic control of the speed of the working body for a certain degree of anthropomorphic robot mobility. The numerical method is used for parametric optimization of digital proportional-integral-differential controllers according to the selected criterion.

Keywords: robot, optimization, drive, digital controller, drive.