

УДК 621.396.4

Лисенко О.І., д.т.н.
Тачиніна О.М., д.т.н.
Гальченко С.М., к.т.н.
Рябова Л. В.
Іваницька В. І.
Гармаш Т. О.
Макарова Я. І.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського»
Національний авіаційний університет

tachinina5@gmail.com

Вступ

В наш час значно розширюються сфери застосування робототехнічних систем та комплексів [1]. Так, завдяки розвитку автоматичних систем керування, інформаційних технологій та їх застосуванню в створенні сучасних робототехнічних систем, з'явилась можливість вивільнення людини від робіт, що створюють загрозу для її життя та здоров'я.

Вирішення багатьох задач задля полегшення роботи людини та досягнення більш високих показників якості і точності виробництва досягається шляхом застосування роботів-маніпуляторів. Одними з найбільш поширених роботів-маніпуляторів є роботи, що здатні виконувати дії подібні руці людини. До таких дій відносяться такі, як: фасування продукції на конвеєрних стрічках та складських приміщеннях; заміна заготовок на верстатах, зміна положення деталей та їх вилучення з печей, жару чи розчинів; різання, шліфування та фарбування деталей та інше.

Роботи-маніпулятори можуть мати різні розміри і типи. Існують як стаціонарні, так і мобільні роботи-маніпулятори. Відрізняються вони за типом конструкції та принципом роботи. Керування може здійснюватись віддалено за участю оператора або без участі оператора за заданою заздалегідь програмою. Для цього оператору необхідно

попередньо провести програмування робота-маніпулятора, щоб в подальшому він працював самостійно.

Таким чином, впровадження промислових роботів є одним з найперспективніших напрямків комплексної автоматизації виробничих процесів, що дозволить значно збільшити продуктивність праці та позбавити людину від монотонної, важкої і шкідливої роботи.

Постановка задачі

При використанні роботів-маніпуляторів постає важливе завдання розробки системи керування, що забезпечує позиціонований рух ланок маніпулятора.

В даній роботі запропонована система автоматичного керування (САК) електроприводом маніпулятора, що забезпечує позиціонований рух ланки маніпулятора по заданій траєкторії. Головне завдання системи автоматичного керування електроприводом полягає у формуванні і здійсненні сукупності керуючих впливів на двигун, відповідно до технологічних вимог, що забезпечує рух ланки маніпулятора по заданій траєкторії.

Запропонована система автоматичного керування електроприводом робота маніпулятора складається з наступних елементів: перетворювача (П), регулятора (Р), тиристорного перетворювача (ТП), двигуна постійного струму (ДПС)

та корегуючих пристроїв (КП1, КП2). Структурна схема САК приводом робо-

та-маніпулятора представлена рис.1.

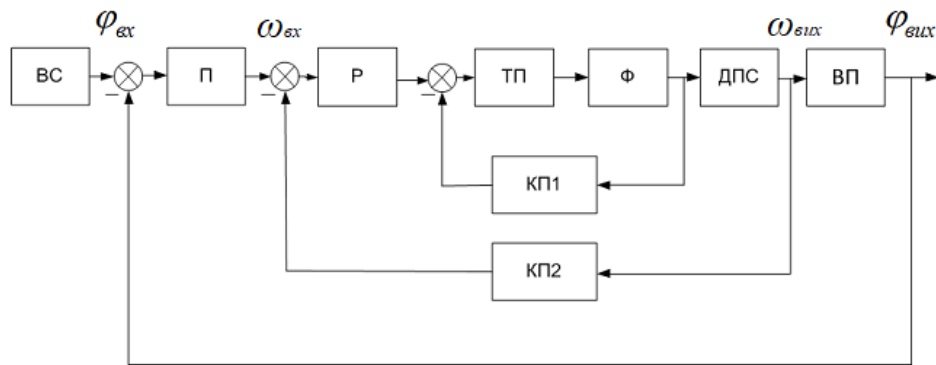


Рис. 1. Структурна схема САК приводом робота-маніпулятора

Двигун постійного струму в САК приводом робота-маніпулятора (рис. 1), представлений аперіодичною ланкою першого порядку. В ролі силового регулятора служить тиристорний перетворювач (ТП), що представлений аперіодичною ланкою першого порядку. Цей регулятор і керує ДПС. В даному випадку, силовий регулятор – це нереверсний широтно-імпульсний перетворювач, який послідовно з'єднаний з фільтром (Ф). Це дає можливість запобігати розмиканню контуру регулювання та обмеження швидкості зміни керуючого сигналу. Регулятор (Р) керує тиристорним перетворювачем. На вхід цього регулятора подається різниця сигналу керування від перетворювача (П) і зворотного зв'язку по частоті [2].

Таким чином, запропонована система автоматичного керування приводом робота-маніпулятора містить три контури керування: контур керування по напрузі; – контур керування по частоті; контур керування по куту відхилення привода.

В роботі розглядається система керування приводом робота-маніпулятора, в якій в якості виконавчого двигуна використовується двигун постійного струму з незалежним збудженням.

Імітаційна модель САК приводом робота-маніпулятора

Початковий аналіз системи дає можливість зробити наступні попередній висновок: за рахунок механічних зусиль на вхід системи надходить кут повороту. Далі цей сигнал з урахуванням помилки перетворюється в електричну напругу. Потім сигнал посилюється, коригується і надходить на двигун. В результаті вихідний сигнал з двигуна надходить на захватний механізм робота-маніпулятора.

Після цього відбувається моделювання системи керування приводом робота-маніпулятора та оптимізація параметрів задля створення ефективної та адекватної моделі. Для оптимізації важливим є підбір параметрів коригувальних пристроїв. Вони повинні бути такими, щоб вихідний сигнал задовольняв наступним показникам якості [2, 5]: максимальне перерегулювання – не більше 3%; час наростання – не більше 2-3 с; тривалість перехідного процесу – не більше 3-5 с.

Для визначення параметрів коригуючих пристроїв та підсилювача було складено імітаційну модель САК (рис. 2) [4] та проведено оптимізація системи в Matlab Simulink, за допомогою використання Signal Constraint.

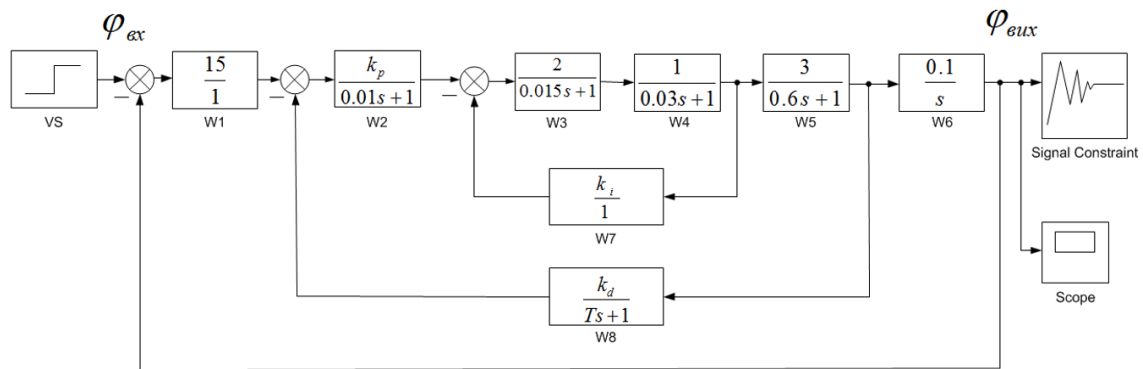


Рис. 2. Імітаційна модель САК приводом робота-маніпулятора

Імітаційна модель складається з наступних елементів:

- VS – блок Step, що служить вхідним сигналом;
- W1 – перетворювач;
- W2 – регулятор;
- W3 – тиристорний перетворювач;
- W4 – фільтр;
- W5 – двигун постійного струму;

W6 – виконуючий пристрій;

W7, W8 – коригуючі пристрої.

Результат моделювання нескорегованої системи зображено на рис. 3, як графік перехідного процесу. Оскільки перехідний процес не відповідає заданим показникам якості, було проведено налаштування системи за допомогою виконання синтезу коригуючих пристроїв та підсилювача k_p , k_i , k_d , T_d .

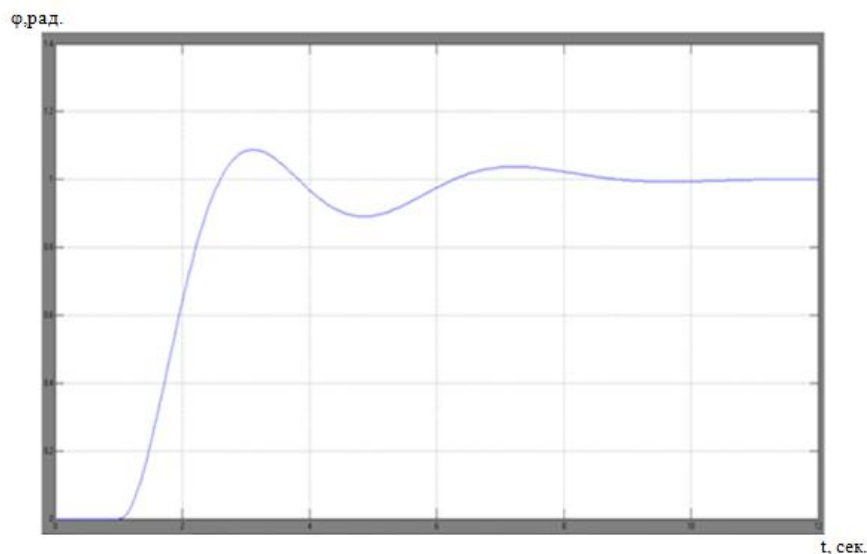


Рис. 3. Перехідний процес нескорегованої системи

Оптимізація перехідного процесу

Підбір параметрів виконувався за допомогою NCD технологій [3]. Для цього було використано NCD-блок, який з'єднаний з виходом системи, оскільки реакція системи на одиничний ступінчастий стрибок у даній моделі і є сигна-

лом, що контролюється. Для початку були задані початкові коефіцієнти:

- $k_p = 1$;
- $k_i = 0,5$;
- $k_d = 0,3$;
- $T_d = 0,9$,

а також налаштування параметрів блоку Signal Constraint.

Після цього було проведено оптимізацію з урахуванням стабільної роботи системи. За мету оптимізації покладена задача синтезу таких параметрів коригуючих пристроїв, при яких обрані пока-

зники якості системи прийматимуть бажані характеристики перехідного процесу [5]. В графічному вигляді хід оптимізації представлено на рис. 4.

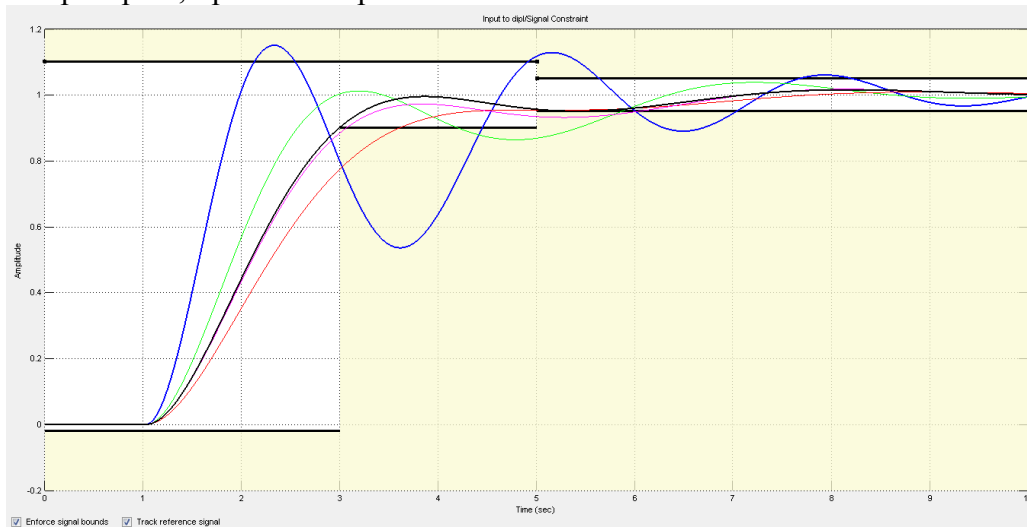


Рис. 4. Оптимізація перехідного процесу

Після проведення оптимізації отримано наступні значення параметрів коригуючих пристроїв та підсилювача:

- $k_p = 0.4205$;
- $k_i = 1.3792$;
- $k_d = 0.3556$;
- $T_d = 0.8965$

Ці параметри коригуючих пристроїв та підсилювача використовуються надалі. Після налаштування підсилювача та коригуючих пристроїв за цими параметрами отримано перехідний процес, який задовольняє заданим критеріям якості (рис. 5).

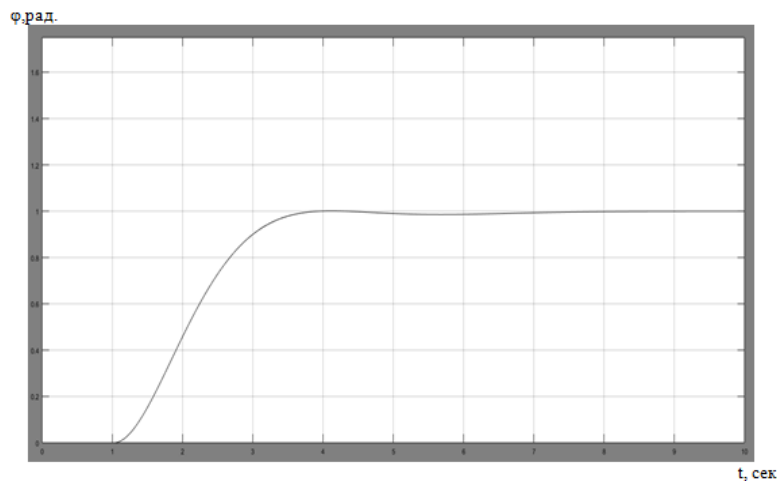


Рис. 5. Перехідний процес скорегованої системи

Побудова дискретної лінійної стаціонарної математичної моделі системи

При побудові дискретної лінійної стаціонарної математичної моделі САК приводом робота-маніпулятора будемо

припускати, що всі елементи зі складу ЦСК працюють поблизу номінальних значень параметрів та режимів. Це дозволяє вважати, що їх математичні моделі є лінійними та стаціонарними. Для побудови моделі були використані таб-

лиці оригіналів і зображень типових функцій, для яких обчислені неперервні перетворення Лапласа та Z – перетворення, а також пакет прикладних програм Matlab [3].

Для неперервної математичної моделі об'єкту керування, яка має наступний вигляд:

$$W_{Нр}(s) = W_3(s)W_4(s)W_5(s),$$

де $W_3(s)$ – тиристорний перетворювач;

$W_4(s)$ – фільтр;

$W_5(s)$ – двигун постійного струму,

проводились обчислення передавальних функцій елементів дискретної лінійної стаціонарної математичної моделі САК приводом.

За допомогою побудови діаграми Бодє обчислювався період квантування за часом. Побудова відбувалась за припущення, що нічого невідомо про верхню частоту корисного сигналу та збурення, а відома лише передатна функція приведенного неперервного об'єкту керування, шукана частота ω – відповідає точці, в якій амплітуда сигналу на виході у 100 разів менша порівняно із амплітудою вхідного сигналу приведенного неперервного об'єкту керування в області низьких частот (рис. 6).

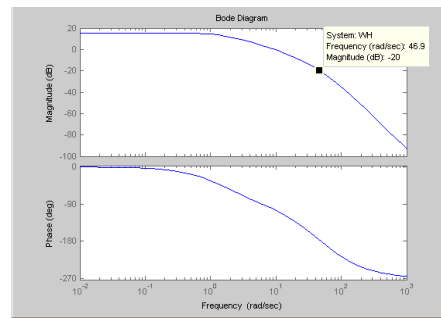


Рис. 6. Діаграма Бодє

Після цього було визначено частоту в точці де діаграма має нахил - 20 db, тобто $\omega = 46.9$ рад/сек.

Визначення періоду квантування за часом відбувається за теоремою Котельникова:

$$T_0 = \pi / \omega;$$

$$T_0 = \pi / 46.9;$$

$$T_0 = 0,067.$$

Після чого проводиться побудова математичної неперервної моделі та обчислення дискретної математичної моделі коригуючого пристрою.

На основі обчислених дискретних передаточних функцій елементів було побудовано імітаційну модель цифрової системи, яка представлена на рис. 7.

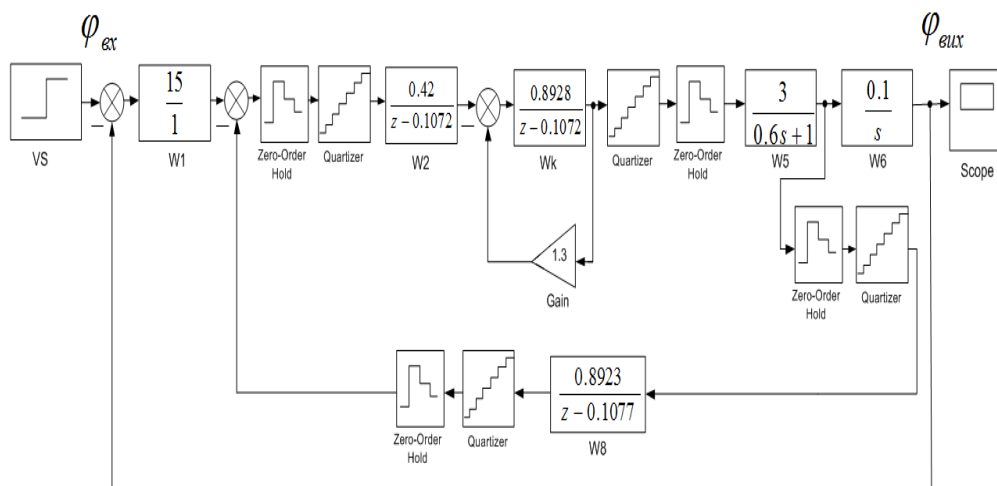


Рис. 7. Імітаційна модель цифрової САК приводом робота-маніпулятора

Перехідні процеси аналогової та цифрової САК приводом робота-маніпулятора

Порівняльний аналіз перехідних процесів в

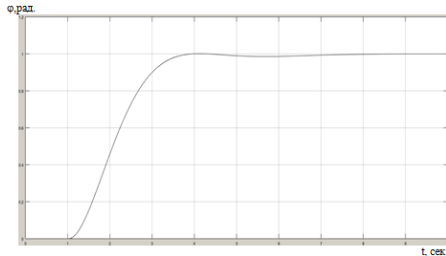


Рис. 8. Перехідний процес аналогової САК приводом робота-маніпулятора

аналоговій (рис. 8) та цифровій (рис. 9) САК приводом робота-маніпулятора показує, що при переході від нелінійної до цифрової САК, за допомогою Z-перетворень,

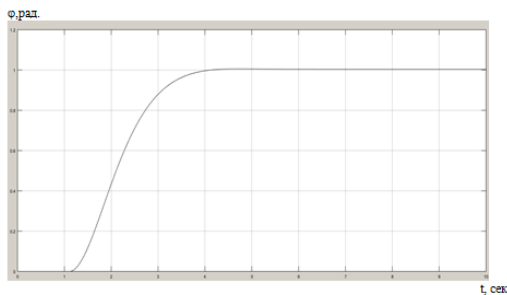


Рис. 9. Перехідний процес цифрової САК приводом робота-маніпулятора

отримано однакові графіки перехідних процесів. Це доводить, що синтезовані за допомогою NCD технології параметри коригуючих пристроїв та підсилювача є вірними. А отже, даний метод є можливим у практичному використанні.

Після цього етапу досліджено систему на стійкість за допомогою побудови АФЧХ заданої САК. Що дозволило визначити запас стійкості розімкнутої системи. [5]. Результат представлено на рис.10.

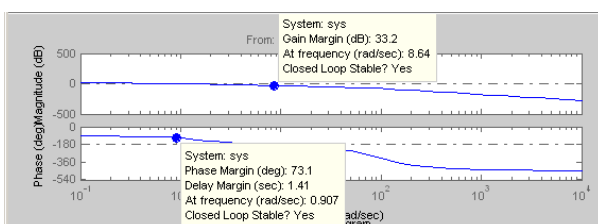


Рис. 10. Амплітудно-фазова частотна характеристика САК

Відповідно до графіку, приведеного на рис. 10, можна зробити висновок, що розроблена система автоматичного керування приводом робота-маніпулятора є стійкою, оскільки:

- запас стійкості по фазі становить 73,1°;

- запас стійкості по амплітуді складає 33,2 дБ.

Висновки

Проведено синтез параметрів коригуючих пристроїв системи автоматичного керування електроприводом робота-маніпулятора, що дозволили покращити характеристики перехідного процесу, а саме: зменшити час перерегулювання, час наростання та тривалість перехідного процесу. Проведений аналіз системи на стійкість показав, що синтезована система є стійкою.

За допомогою таблиць оригіналів та зображень типових функцій, для яких обчислені неперервні перетворення Лапласа та Z-перетворення, побудовано дискретну лінійну стаціонарну математичну модель системи автоматичного керування приводом робота-маніпулятора.

Отримані результати моделювання перехідних процесів дозволяють стверджувати, що синтезовані параметри коригуючих пристроїв для аналогової системи автоматичного керування можна використовувувати і в цифровій системі автоматичного керування електроприводом робота-маніпулятора.

Список літератури

1. Тачиніна О.М. Математичне моделювання слідкуючої системи промислового робота/ О.М. Тачиніна, С.М. Гальченко та ін. // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук.

праць. – К.: НАУ, 2017. – Вип. 1-2(57-58). – С.79-86.

2. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – СПб.: Изд-во «Ланцо-Профессия», 2004. – 752 с.

3. Дьяконов В.П. Компьютерная математика: Теория и практика / В.П. Дьяконов. – М.: Нолидж, 2000. – 430 с.

4. Макаров И.М. Управление робото-техническими системами и гибкими автоматизированными производствами: Пособие / Под ред. И.М. Макарова. – М.: Высшая школа, 1986. – 159с.

5. Russell Smith. Open Dynamics Engine. – 2014. – 773 с.

**Лисенко О.І., д.т.н.,
Тачиніна О.М., д.т.н.,
Гальченко С.М., к.т.н.,
Рябова Л. В.,
Іваницька В. І.,
Гармаш Т. О.,
Макарова Я. І.**

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

В наш час значно розширюються сфери застосування робототехнічних систем та комплексів. Впровадження промислових роботів є одним з найперспективніших напрямків комплексної автоматизації виробничих процесів, що дозволить значно збільшити продуктивність праці та позбавити людину від монотонної, важкої і шкідливої роботи. Вирішення багатьох задач задля полегшення роботи людини та досягнення більш високих показників якості і точності виробництва досягається шляхом застосування роботів-маніпуляторів. Так, завдяки розвитку автоматичних систем керування, інформаційних технологій та їх застосуванню в створенні сучасних робототехнічних систем, з'явилась можливість вивільнення людини від робіт, що створюють загрозу для її життя та здоров'я.

При використанні роботів-маніпуляторів постає важливе завдання розробки системи керування, що забезпечує позиціонований рух ланок маніпулятора. Головне завдання системи автоматичного керування електроприводом полягає у формуванні і здійсненні сукупності керуючих впливів, відповідно до технологічних вимог.

В даній роботі запропонована система автоматичного керування електроприводом маніпулятора, що забезпечує позиціонований рух ланки маніпулятора по заданій траєкторії. За допомогою таблиць оригіналів та зображень типових функцій, для яких обчислені неперервні перетворення Лапласа та Z-перетворення, побудовано дискретну лінійну стаціонарну математичну модель системи автоматичного керування приводом робота-маніпулятора. Проведено синтез параметрів коригуючих пристроїв системи автоматичного керування електроприводом робота-маніпулятора, що дозволили покращити характеристики перехідного процесу, а саме: зменшити час перерегулювання та тривалість перехідного процесу.

Отримані результати моделювання перехідних процесів дозволяють стверджувати, що синтезовані параметри коригуючих пристроїв для аналогової системи автоматичного керування можна використовувати і в цифровій системі автоматичного керування електроприводом робота-маніпулятора.

Ключові слова: робот-маніпулятор, математична модель, коригуючий пристрій.

**Lysenko O.I.,
Tachinina O.M.,
Galchenko S.M.,
Ryabova L.V.,
Ivanitskaya V.I.,
Garmash T.O.,
Makarova Ya. I.**

DEVELOPMENT OF SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF ROBOTIC ARM DRIVE

Currently, the scope of application of robotic systems and complexes is expanding significantly. The introduction of industrial robots is one of the most promising areas of complex automation of production processes, which will significantly increase labor productivity and save people from monotonous, difficult and harmful work. Many tasks are solved by facilitating robotic manipulators to facilitate human performance and to achieve higher quality and accuracy of production. Thus, thanks to the development of automatic control systems, information technologies and their application in the creation of modern robotic systems, the opportunity has emerged to release a person from work that poses a threat to his life and health.

When using manipulator robots, an important task is to develop a control system that provides positioned movement of the links of the manipulator. The main task of the automatic drive control system is to form and implement a set of control effects, in accordance with technological requirements.

In this work we propose a system of automatic control of the actuator of the manipulator, which provides positioned movement of the manipulator link along a given trajectory. Using the tables of originals and images of typical functions for which continuous Laplace transforms and Z-transforms are calculated, a discrete linear steady-state mathematical model of the robot-manipulator automatic control system is constructed. The parameters of the corrective devices of the system of automatic control of the electric actuator of the robot manipulator were made, which allowed to improve the characteristics of the transient process, namely: to reduce the time of over-regulation and the duration of the transient.

The obtained results of the simulation of transients allow to confirm that the synthesized parameters of the corrective devices for the analog automatic control system can be used in the digital automatic control system of the electric actuator of the robot manipulator.

Keywords: robot-manipulator, mathematical model, corrective element.