

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ГОЛОВНОГО РУХУ ПОЗДОВЖНЬО- СТРУГАЛЬНОГО ВЕРСТАТА

Анотація. Проведено аналіз технологічних особливостей поздовжньо-стругального верстата, вибір потужності електродвигуна і перевірку за нагрівом, розраховано параметри силової частини електроприводу, параметри математичної моделі контуру струму та швидкості, розроблено імітаційну модель, отримано перехідні процеси у пакеті Matlab, досліджено перехідний процес контуру швидкості при оптимізації коефіцієнтів ПІД-регулятора засобами Matlab.

Вступ. Більша частина виробленої в усьому світі електричної енергії перетворюється за допомогою електродвигунів у механічну, що у свою чергу вимагає створення оптимальних систем автоматичного керування (САК). Тому у сучасному світі спостерігається стрімкий розвиток різноманітних методів побудови САК. Відповідно постає питання якісної перевірки таких систем, але не завжди зручно та вигідно, а деколи й не можливо, провести тестування модернізованої системи керування на реальному технологічному об'єкті. У цьому випадку рішення полягає у застосуванні різного роду імітаторів, моделей електроприводу промислового устаткування, які відтворюють і використовують різні чинники у моделі, тим самим спрощуючи умови тестування. Імітація або моделювання - це метод дослідження явищ і процесів, що ґрунтується на заміні оригіналу об'єкта досліджень іншим, подібним до нього, тобто його моделлю. Імітація процесів широко застосовується у таких галузях промисловості як машинобудівна, автомобільна, роботобудування, водно-морська, аерокосмічна, електрична інженерія тощо. При цьому тестуються розроблені програми керування системою на наявність помилок. Це дозволяє визначити якісні і кількісні показники роботи розроблюваних регуляторів. Тому під час процесу проектування метод імітації або моделювання є одним із найбільш актуальних кроків процедури тестування і перевірки нових систем.

Метою виконання роботи – розробка імітаційної моделі системи автоматичного керування електроприводом головного руху механізму переміщення столу поздовжньо-стругального верстату та проведення досліджень налаштування і оптимізації регулятора швидкості цієї системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У наш час комерційно випускаються платформи для реалізації імітації такими фірмами як Opal-RT, dSPACE, RTDS, Autobox, Mathwork xPC [1]. Ці системи програмуються безпосередньо на мові програмування С або у програмному пакеті Matlab/Simulink [2-3] та дозволяють подальшу компіляцію до мови С. Завдяки вбудованій функції контролю часу циклу моделювання гарантовано досягається імітація у режимі реального часу.

Інший варіант реалізації системи імітації включає застосування програмної оболонки LabView [4], що потребує значно менших фінансових затрат та є більш доступним, але в цьому разі не має механізму гарантування відповідності до режиму реального часу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Поняття «стругальний верстат» у перекладі з англійської мови - це тип металообробного верстата, який використовує лінійний відносний рух між заготовкою та інструментом для різання заготовки. Вони також призначені для утворення плоских поверхонь на заготовках, які або неможливо, або незручно обробляти на фрезерних верстатах. Заготовка, яка підлягає обробці закріплюється на столі верстаті, який робить зворотно-поступальний рух біля нерухомого різцевого супорта. Стружка знімається нерухомим різцем (або різцями) лише при робочому ході столу - хід уперед. Подача різця відбувається на кожен крок зазвичай під час реверсування столу зі зворотного ходу на робочий, так само перед початком робочого ходу столу. Такі верстати характеризуються найбільшою довжиною (хід столу) та найбільшою шириною стругання, а також найбільшою висотою підйому поперечини (траверси) з супортами: від цих величин залежать найбільші розміри заготовок, які можна оброблювати на даному верстаті [5].

У разі створення математичної моделі її відповідність до об'єкту також може визначатися з застосуванням елементів імітації. При ідеальному випадку процесу імітації для випробуваного обладнання об'єкт, що імітується, нічим не відрізняється від реального.

В ході моделювання є можливість стежити за процесами, що відбуваються в системі. Для цього використовуються спеціальні пристрої спостереження, що входять до складу бібліотеки Simulink [6-7]. Результати моделювання можуть бути представлені у вигляді графіків (рис.1).

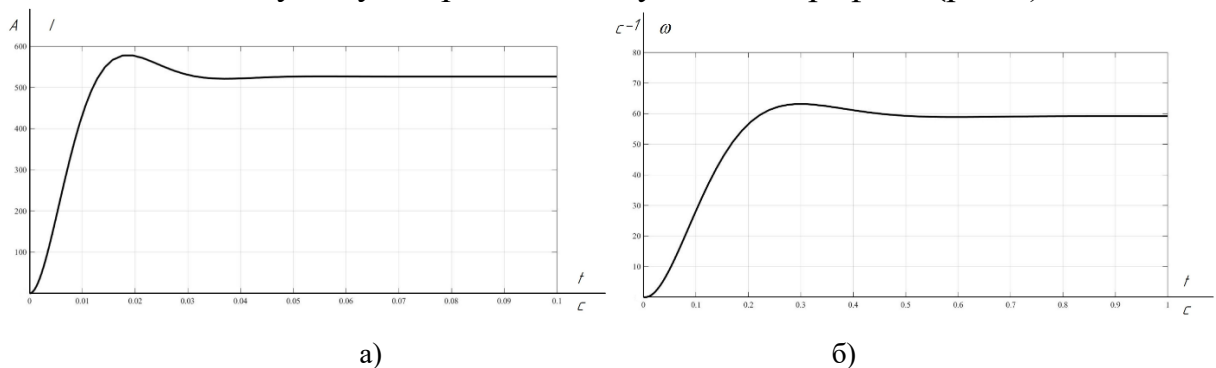


Рисунок 1 – Перехідний процес контуру струму (а) і швидкості (б).

Структурна схема САК з ПІД-регулятором показана на рис. 2, де g – вхідний сигнал, y – вихідний сигнал, $x = g - y$ – помилка системи, u – керуючий сигнал, $W_{ПД}(s)$ – передаточна функція ПІД-регулятора, $W_o(s)$ – передаточна функція підсилювача потужності, виконавчого органу та об'єкта керування [8].

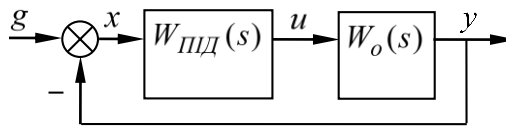


Рисунок 2 – Структурна схема САК з ПІД-регулятором

Передаточна функція ідеального ПІД-регулятора має вигляд

$$W_p(s) = K_{II} + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (1)$$

При цьому перша складова являє собою пропорційну ланку (П), друга складова – інтегруючу ланку (І), третя складова – диференціююча ланка (Д). На підставі цього регулятор має назву ПІД-регулятор. Існують також П-, ПІ-, та ПД-регулятори, структура яких залежить від того, які складові входять до регулятора. Для покращення завадозахищеності на практиці третю складову у (1) замінюють на диференціюючу ланку з уповільненням. Інерційна складова зі сталою часу виконує роль фільтра.

$$W_p(s) = K_{II} + \frac{K_I}{s} + \frac{K_D s}{T_\phi s + 1} \quad (2)$$

Включення П-частини дозволяє зменшити статичну помилку та час перехідного процесу. Включення І-частини дозволяє зробити систему астатичною. Включення Д-частини дозволяє зменшити швидкісні помилки. Загальний перехідний процес в ПІД-регуляторі є сумою процесів в П, І та Д-частинах.

За допомогою стандартних блоків Матлаб/Симулінк розроблено підсистеми ПІД-регулятора, у якому використані буквені позначення коефіцієнтів регулятора з метою подальшого налаштування засобами Матлаб. Замінено П-регулятор швидкості з налаштуванням на модульний оптимум на ПІД-регулятор, додано блок Check Step Characteristics для використання оптимізації параметрів регулятора засобами Матлаб [9-11] (рис. 3).

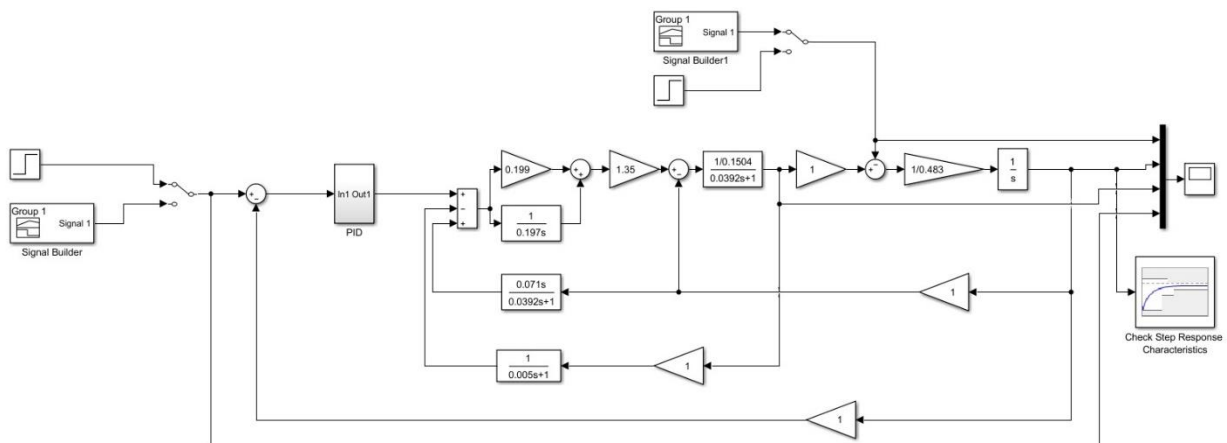


Рисунок 3 – Імітаційна модель підпорядкованої системи автоматичного керування з ПІД-регулятором швидкості, оптимізована засобами Матлаб

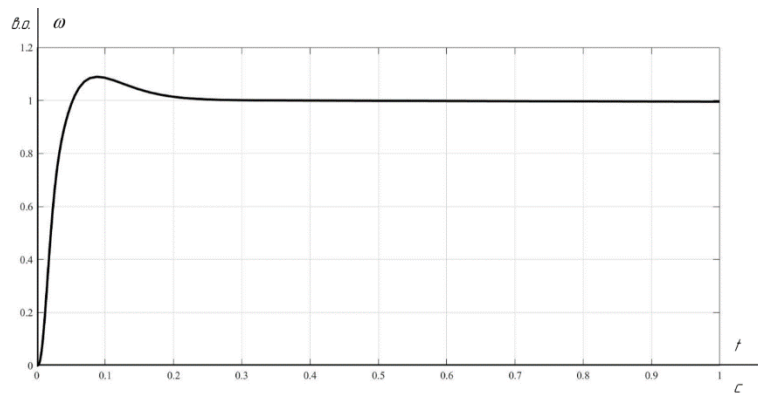


Рисунок 4 – Перехідний процес САК з ПІД-регулятором у контурі швидкості, що оптимізована засобами Матлаб

Для порівняння електромеханічних процесів систем автоматичного керування верстата [8] підпорядкованого типу з ПІ-регулятором струму у внутрішньому контурі та П-регулятором швидкості у зовнішньому контурі та оптимізованої засобами Матлаб з ПІД-регулятором швидкості у зовнішньому контурі розроблено комп'ютерні моделі (рис. 3) та отримані графік перехідного процесу конкуру швидкості з розробленим регулятором (рис. 4).

Отже, система автоматичного керування оптимізована засобами Матлаб у порівнянні показників якості керування з підпорядкованою системою автоматичного керування показала кращі результати щодо швидкодії системи, але гірші результати щодо перерегулювання у порівнянні з налаштуванням на модульний оптимум.

Висновок. Складено функціональну схему САК регулювання швидкістю; розраховані регулятори струму та швидкості; розроблено комп'ютерні моделі САК швидкістю підпорядкованого типу з внутрішнім контуром струму і ПІ-регулятором струму, який налаштовано на модульний оптимум, та зовнішнім контуром швидкості з П-регулятором швидкості, який також налаштовано на модульний оптимум; розроблено комп'ютерні моделі САК швидкістю підпорядкованого типу з внутрішнім контуром струму і ПІ-регулятором струму, який налаштовано на модульний оптимум, та зовнішнім контуром швидкості з ПІД-регулятором швидкості, який оптимізовано засобами Матлаб. Система автоматичного керування оптимізована засобами Матлаб у порівнянні показників якості керування з підпорядкованою системою автоматичного керування показала кращі результати щодо швидкодії системи, але гірші результати щодо перерегулювання у порівнянні з налаштуванням на модульний оптимум.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Galan, Daniel, Heradio, Ruben, Luis de laTorre, Dormido, Sebastian, Esquembre, Francisco. (2016), Virtual Control Labs Experimentation: The Water Tank System. IFAC-Papers On Line, vol. 49, Issue 6, , pp. 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.158>
2. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / О.П. Чорний, А.В. Луговой, Д.Й. Родькін, Г.Ю. Сисюк, О.В. Садовой – Кременчук, 2001. – 410 с.
3. Бакаев В.Н. Моделирование систем: учебное пособие / В.Н. Бакаев. – Вологда: ВоГТУ, 2013. - 159 с.

4. Olejnik, P., Awrejcewicz, J. (2019), A mechatronic experimental system for control of fluid level in LabVIEW, 20th International Carpathian Control Conference (ICCC), Krakow-Wieliczka, Poland, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2019.8765959>.

5. Повздовжньо-стругальні верстати – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Повздовжньо-стругальні_верстати.

6. Nazarova Olena. Computer Modeling of Multi-Mass Electromechanical Systems. The Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020), Vol. 2608, pp. 489-498.

7. Sadovoi O., Nazarova O., Bondarenko V., Pirozhok A., Hutsol T., Nurek T., Glowacki Sz. Modeling and research of electromechanical systems of cold rolling mills. Monograph. – Krakow: Traicon, 2020. – 138 p. ISBN 978-83-65180-22-3

8. Назарова, О.С. Процес обробки виробу на поздовжньо-стругальному верстаті / О.С. Назарова, А.С. Горецька // Тиждень науки-20 Електротехнічний факультет. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 13–17 квітня 2020 р. [Електронний ресурс] / Редкол. :В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – С. 163-165.

8. Чермалых В.М., Чермалых А.В., Майданский И.Я. Идентификация и оптимизация параметров электромеханической системы методом компьютерного моделирования // Вісник ХПІ, 2010, №28. - С.45-48.

10. Чермалых А.В., Майданский И.Я., Михайлов А.А. Оптимизация электромеханических систем с ПИД-регулятором методом компьютерного моделирования // Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика» научно-технического журнала «Электроинформ». – Львов: ЕКОинформ, 2009. – С. 17-20.

11. Жученко А. І., Ладієва Л. Р., Дубік Р. М. Динамічна оптимізація з використанням MATLAB та SIMULINK. – К.: НТУУ “КПІ”, 2010. – 209с.