

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЧИСЕЛЬНИХ РОЗРАХУНКІВ ПРИ РОЗРОБЦІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Лук'яненко П.В., магістрант

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Україна, Миколаїв

pyotr77@gmail.com

Анотація. Робота призначена аналізу математичних моделей та особливостей чисельних розрахунків при розробці програмного забезпечення дослідження динаміки систем автоматичного керування електроприводами: реакція системи на різні види вхідного впливу, побудова логарифмічних амплітудної частотної характеристики (ЛАЧХ) та фазочастотної характеристики (ЛФЧХ), побудова діаграм Найквіста та Михайлова.

Ключові слова: ЛАЧХ, ЛФЧХ, діаграма Найквіста, годограф Михайлова, система автоматичного керування, автоматизований електропривод.

Вступна частина. Одним з основних напрямів науково-технічного прогресу в різних галузях народного господарства є механізація і автоматизація. В процесі рішення цих завдань передбачається створення і використання гнучких виробничих систем (ГВС) і робототехнічних комплексів (РТК). Це стало можливим у зв'язку із застосуванням автоматизованих електроприводів.

Вирішення питань автоматизації виробничих процесів в значній мірі залежить від рівня розвитку техніки. Широке застосування верстатів з облаштуваннями числового програмного керування (ЧПК) привело до поглиблення завдань автоматизації виробництва [1].

Для керування виконавчими облаштуваннями верстатів з ЧПК велике значення має використання регульованих електроприводів, в якості яких застосовуються комплектні електроприводи постійного і змінного струму. Основним призначенням комплектного електроприводу є його використання у верстатах в якості приводу головного руху або якості приводу подачі.

Одним з найважливіших чинників, що впливають на стабільність позиціонування обробки і на ідентичність параметрів при обробці партії деталей, є характер перехідного процесу по управляючій дії в замкнутих системах електроприводів [2].

Основна частина. Для налаштування автоматизованих електроприводів, які оптимізуються за декількома критеріями якості управління, розроблені спеціальні стандартні налаштування, що дозволяють знайти компромісне вирішення цього питання. Проте стандартні налаштування часто не задовольняють реальним вимогам виробництва, а розрахунок налаштувань під конкретні вимоги - процес складний і трудомісткий. Кращим виходом з ситуації, що створилася, є застосування обчислювальної техніки і спеціального програмного забезпечення.

Застосування обчислювальної техніки дозволить більш повно досліджувати статичні і динамічні параметри автоматизованого електроприводу і, зокрема, визначати якісно і кількісно міру впливу налаштувань регуляторів електроприводу на його характеристики. Вибір оптимальних показників якості управління можливий після математичного

модельовання приводу і перевірки отриманих результатів на стенді. Такий метод налаштування дозволяє порівняно просто і з мінімальним простоем верстатів реалізувати необхідні параметри налаштування, значно спростити роботу того, хто налагоджує верстати з ЧПК, а також істотно допомогти здобувачам освіти у вивченні реальних систем автоматичного управління електроприводом.

Існуючі системи математичного аналізу автоматизованих систем керування мають відносно високу цінову категорію (наприклад, MathCad 15 – 30600 грн, MatLab – 1265\$ - вартість однієї мережевої академічної ліцензії [3]), тому виникає питання розробки програмного забезпечення аналізу динамічних систем автоматичного керування в учбових закладах.

Для розробки алгоритмів програми, що дозволяють досліджувати динаміку електропривода, необхідно дослідити: роботу з поліномами (додавання, різниця, множення поліномів, вивід поліномів у текстовій формі та ін.); роботу з комплексними числами (арифметичні операції; мніма, речова частина, модуль, аргумент, ступінь); роботу з передаточними функціями (арифметичні операції, розрахунок ЛАЧХ, ЛФЧХ, діаграми Найквіста та Михайлова); рішення диференціальних рівнянь (розрахунок рішення диференціального рівняння методом Рунге-Кутти; диференціювання таблично заданих функцій інтерполяційним поліномом Ньютона). За допомогою даного методу розраховується реакція системи автоматичного керування (САК) на дельта-функцію, лінійний сигнал, квадратичний та гармонійний вхідні сигнали.

Початковими даними для дослідження динаміки САК є: математична модель електропривода (передаточна функція); тип задаючої дії; параметри інтегрування.

Розробку програмного забезпечення доцільно розбити на декілька етапів:

1. Розробка математичної моделі досліджуваного об'єкту;
2. Обґрунтування і вибір методу інтегрування;
3. Розробка алгоритмів рішення диференціальних рівнянь;
4. Розробка інтерфейсу програми.

Математична модель системи керування задана у вигляді передатної функції, що визначає відношення вихідного сигналу об'єкту до вхідного. У загальному випадку передатна функція має вигляд [4]:

$$W(p) = \frac{a_n \cdot p^n + a_{n-1} \cdot p^{n-1} + \dots + a_1 \cdot p + a_0}{b_m \cdot p^m + b_{m-1} \cdot p^{m-1} + \dots + b_1 \cdot p + b_0}.$$

Позначивши вхідний сигнал $Z(p)$ і вихідний сигнал $Y(p)$, отримаємо:

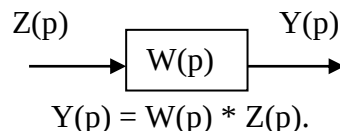


Рисунок 1 - Залежність вихідного від вхідного сигналів передатної функції

Представимо функцію $W(p)$ у вигляді двох структурних блоків, включених послідовно за схемою, зображеною на рисунку 2.

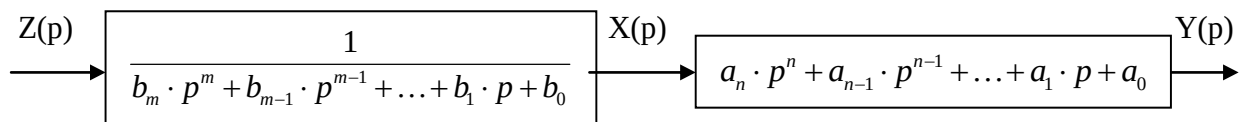


Рисунок 2 - Передатна функція у вигляді двох структурованих блоків.

При переході в часову область отримаємо:

$$b_m \frac{d^m X(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} X(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dX(t)}{dt} + b_0 X(t) = Z(p),$$

$$Y(t) = a_n \frac{d^n X(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} X(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dX(t)}{dt} + a_0 X(t).$$

Ввівши позначення $X' = X_1, X'_1 = X_2, \dots, X'_{m-2} = X_{m-1}$ отримаємо:

$$\begin{cases} X' = X_1; \\ X'_1 = X_2; \\ \dots \\ X'_{m-1} = \frac{1}{b_m} [Z(t) - b_{m-1} X_{m-1} - b_{m-1} X_{m-1} - \dots - b_1 X_1 - b_0 X] \end{cases} \quad (1)$$

$$Y = a_0 X + a_1 X_1 + \dots + a_n X_n. \quad (2)$$

Таким чином, завдання рішення диференційного рівняння зводиться до рішення системи диференціальних рівнянь (1) і отримання результату шляхом знаходження виразу (2).

Для вирішення системи рівнянь вибираємо метод Рунге-Кутти з фіксованим кроком інтегрування. Перевагою цього методу є відносно висока точність інтегрування (порядку h^4 міри, де h - крок інтегрування) при невисокій складності алгоритму.

При використанні цього методу результат рішення диференційного рівняння $y' = f(x, y)$ знаходиться по формулі:

$$Y_i = Y_{i-1} + DY_{i-1},$$

де

$$DY_{i-1} = \frac{1}{6} (K_1 + 2 \cdot K_2 + 2 \cdot K_3 + K_4),$$

$$K_1 = h \cdot f(x_{i-1}, y_{i-1}),$$

$$K_2 = h \cdot f\left(x_{i-1} + \frac{h}{2}, y_{i-1} + \frac{K_1}{2}\right),$$

$$K_3 = h \cdot f\left(x_{i-1} + \frac{h}{2}, y_{i-1} + \frac{K_2}{2}\right),$$

$$K_4 = h \cdot f(x_{i-1} + h, y_{i-1} + K_3).$$

Для аналізу стійкості системи керування необхідно розробити бібліотеки знаходження логарифмічної амплітудної характеристики, фазової характеристики, а також діаграми Найквіста та Михайлова, використовувачі задану передаточну функцію.

Висновки. Проаналізувавши існуючі системи математичного аналізу автоматизованих систем керування (MathCad, MatLab), які мають відносно високу цінову категорію, було зроблено висновок, що для реалізації програмного забезпечення, яке дозволяє досліджувати

динамічні властивості САК, доцільно розробити бібліотеки для роботи з поліномами, комплексними числами, передаточними функціями та диференціальними рівняннями.

Це надасть змогу автоматизувати та візуалізувати дослідження динаміки САК у вигляді ЛАЧХ, ЛФЧХ, діаграми Найквіста та Михайлова, а також реакції системи керування на різні види вхідного впливу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Чернов, Е.А., & Кузьмин, В.П. (1989). *Комплектные электроприводы станков с ЧПУ: Справочное пособие*. Горький: Волго-Вятское кн. изд-во.
- [2] Терехов, В.М., & Осипов, О.И. (2006). *Системы управления электроприводов*. М.: Издательский центр «Академия».
- [3] MATLAB – это высокоуровневый язык технических расчетов, интерактивная среда разработки алгоритмов и современный инструмент анализа данных. (н.д.). <https://pro-spo.ru/information-required-to-install/749-matlab>.
- [4] Попович, М.Г., & Ковальчук, О.В. (2007). *Теорія автоматичного керування*. К:Лібідь.

Lukianenko P.

Mathematical models and features of numerical calculations in the development of software for the study of dynamic properties of electric drives

Abstract. *The work is intended for the analysis of mathematical models and features of numerical calculations in the development of software for the study of the dynamics of automatic control systems of electric drives: the response of the system to various types of input influences, the construction of logarithmic amplitude-frequency characteristics (LAFC) and phase-frequency characteristics (LPFC), construction of Nyquist and Mikhailov diagrams.*

Key words: LAFC, LPFC, Nyquist diagram, Mikhailov's hodograph, automatic curing system, electric drive automation.