

О.І. ДЕНИСОВ, д-р техн. наук, В.П. ВОЙТЕНКО, СТАРШИЙ ВИКЛАДАЧ

СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМИ ПОЗИЦІЮВАННЯ МАГНІТНИХ ГОЛІВОК

Вступ

Поліпшення параметрів накопичувачів на магнітних дисках (НМД) можливе при підвищенні щільності запису інформації і швидкості переміщення як носія, так і голівок при пошуку. Подовжня щільність запису залежить від роздільної здатності системи голівка – носій, а також від застосованих методів запису. Поперечна щільність запису може бути підвищена за рахунок зменшення ширини доріжки запису і кроку між доріжками. Звідси випливають високі вимоги до точності (одиниці мікрометрів) і швидкодії (десятки мілісекунд), що висуваються до систем позиціонування магнітних голівок.

У масових НМД типу «вінчестер» у цих системах широко застосовуються електродвигуни поворотного типу. У якості датчика зворотного зв'язку по положенню використовується сервоканал, що включає в себе одну з робочих поверхонь пакета магнітних дисків. Технологія виробництва НМД, якою володіють лише головні світові виробники, передбачає заводську розмітку сервоповерхні. Ця стаття присвячена розробці системи позиціонування магнітних голівок для серворайтера – станда для запису службової інформації на магнітний диск, тобто – заводської розмітки НМД.

Структура системи

Оскільки вимоги до масогабаритних характеристик механічних частин серворайтера знижені в порівнянні з масовими НМД, можливе використання таких вузлів системи позиціонування, що забезпечать, насамперед, точність позиціонування, а також малий час виводу магнітних голівок у необхідну позицію. Найбільш доцільним варто вважати використання лінійного електродвигуна постійного струму (ЛД), що дозволяє відмовитися від застосування проміжних кінематичних ланок і уникнути перекошу робочого зазора магнітної голівки. Вимога високої точності позиціонування визначає необхідність використання прецизійних

датчиків зворотного зв'язку по положенню, наприклад – оптичних.

Найважливішою ланкою прецизійного лінійного електропривода є напівпровідниковий перетворювач електроенергії, задача якого – забезпечити адекватні параметри електроенергії в навантаженні, тобто – сформувати заданої величини і форми струм (напругу) в обмотці ЛД.

Таким чином, позиціонує система для дискового накопичувача – це складний електромеханічний комплекс, що складається (рис. 1) із ЛД,

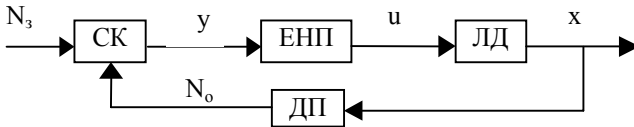


Рис. 1. Узагальнена схема позиціонує системи

електричного напівпровідникового перетворювача (ЕНП), системи керування (СК) і датчика зворотного зв'язку по положенню (ДП). Тут N_3 – код завдання номера доріжки, N_0 – код положення, x – координата позиціонування, u – напруга на обмотках ЛД, y – керування. Ефективне вирішення задач, що постають перед системою позиціонування у цілому, можливе, якщо в системі керування використовується мікропроцесор. Крім інших переваг це дозволяє легко прийняти і дешифрувати цифрову команду, отриману від центральної ЕОМ, що працює з даним НМД.

Сучасною елементною базою мікропроцесорних систем керування є однокристальні мікроконтролери (ОМК), що об'єднують на одні кристалі велику кількість допоміжних пристроїв (таймери, широтно-імпульсні модулятори, аналого-цифрові перетворювачі й ін.). Актуальною уявляється задача розробки методики побудови й алгоритму роботи ОМК, що без проміжних ланок дозволили б управляти силовими вентилями ЕНП, формуючи необхідну траєкторію переміщення. При цьому за ОМК зберігається функція підтримки інтерфейсу з провідною ЕОМ.

Визначення структури цифрового регулятора

Передатну функцію ЛД по положенню як ланки системи керування в спрощеному вигляді можна зобразити таким чином [1]:

$$W(p) = \frac{\rho}{p \cdot (p + \alpha)(p + \beta)}, \quad (1)$$

де α і β – корені характеристичного рівняння, що описує переміщення рухливої частини ЛД;

$$\rho = \frac{1}{(C_e \cdot T_m \cdot T_e)};$$

C_e – коефіцієнт протиЕРС;

T_m – електромеханічна постійна часу ЛД;

T_e – електрична постійна часу ЛД.

За виразом (1) легко скласти схему моделювання ЛД у змінних стану. На рис. 2 наведено структурну схему цифрової системи позиціонування

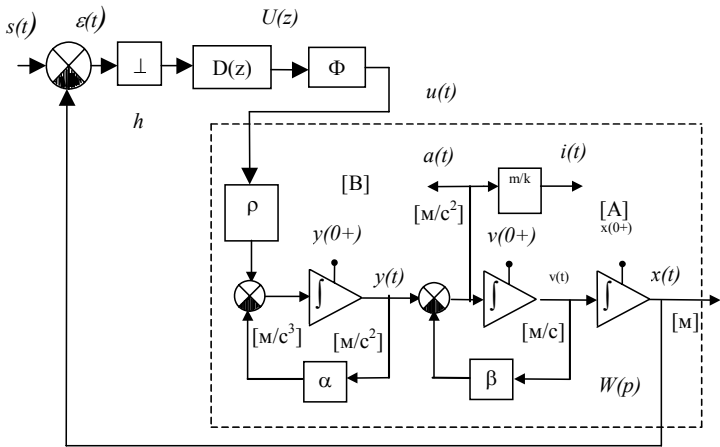


Рис. 2. Структурна схема ЦСП

(ЦСП), яка містить ідеальний імпульсний елемент, що замикається з кроком дискретизації h , цифровий регулятор із передатною функцією $D(z)$, фіксатор (Φ), а також об'єкт регулювання – ЛД із передатною функцією $W(p)$, поданий схемою моделювання. Задача цифрового регулятора полягає у відпрацюванні вхідного впливу у вигляді одиничної ступеневої функції без перерегулювання за кінцевий і мінімальний час.

Використання методу перемінного коефіцієнта підсилення [2] дозволило знайти передатну функцію оптимального цифрового регулятора у вигляді:

$$D(z) = \frac{K_0 \varepsilon(0^+) + K_1 \varepsilon(h^+) z^{-1} + K_2 \varepsilon(2h^+) z^{-2}}{\varepsilon(0^+) + \varepsilon(h^+) z^{-1} + \varepsilon(2h^+) z^{-2}} = \quad (2)$$

$$= K_0 \frac{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}},$$

де

$$a_1 = \frac{\varepsilon(h^+)}{x_0} = x_0 \frac{1 - \rho K_0 G}{x_0} = 1 - \frac{1}{(1-A)(1-B)} \left[1 - \frac{\alpha + \beta}{\alpha \beta h} + \frac{\beta^2 A - \alpha^2 B}{\alpha \beta h (\beta - \alpha)} \right];$$

$$a_2 = \frac{\varepsilon(2h^+)}{x_0} = L = 1 - \frac{1}{\alpha \beta h} \left[\alpha \beta h + \beta \left(1 - \alpha h + \frac{\alpha}{\beta - \alpha} \right) B + \alpha \left(1 - \beta h + \frac{\beta}{\beta - \alpha} \right) A - (\alpha + \beta) AB \right] \frac{1}{(1-A)(1-B)};$$

$$b_1 = \frac{K_1}{K_0} \cdot \frac{\varepsilon(h^+)}{x_0} = -(e^{-h\alpha} + e^{-h\beta}) = -(A + B);$$

$$b_2 = \frac{K_2}{K_0} \cdot \frac{\varepsilon(2h^+)}{x_0} = e^{-h(\alpha + \beta)};$$

K_0, K_1, K_2 – коефіцієнти передачі регулятора на трьох кроках дискретизації;

x_0 – необхідна координата позиціонування;

$\varepsilon(0^+), \varepsilon(h^+), \varepsilon(2h^+)$ – сигнали на вході регулятора при замиканні імпульсного елемента на трьох кроках дискретизації.

Коефіцієнти передатної функції цифрового регулятора можуть бути визначені, виходячи з параметрів ЛД, а також кроку дискретизації h .

Реальний ЛД з висококоерцитивними магнітами, спеціально сконструйований для рішення задачі точного лінійного переміщення, має електричну постійну часу T_e набагато меншу, ніж електромеханічна

постійна T_m . Як показує чисельний аналіз перехідних процесів у системі, до кінця 2-го кроку дискретизації помилка встановлення системи складає достатньо малу величину. Це ж можна сказати про величину коефіцієнта K_2 на 3-му кроці, а також про рівень впливу u_2 [1]. Тому є підстава наближено вважати ЛД об'єктом регулювання 2-го порядку, а незначну залишкову помилку позиціонування на кінець 2-го кроку дискретизації зводити до нуля за більш короткий, ніж $3h$ час за допомогою системи стеження за дорожкою.

Спрощена передатна функція ЛД може бути подана у вигляді:

$$W = \frac{\rho/\beta}{p \cdot (p + \alpha)}. \quad (3)$$

З огляду на те, що $\beta \gg \alpha$, а отже $e^{-\beta h} \ll e^{-\alpha h}$ і при кроках дискретизації h , що значно перевищують електричну постійну часу ЛД (тобто $h \gg T_e$, $e^{-\beta h} \ll 1$), з (2) можна одержати наближені значення коефіцієнтів передатної функції цифрового регулятора $K_0 \sim, K_1 \sim, a_1 \sim, b_1 \sim$ причому $K_2 \sim = a_2 \sim = b_2 \sim = 0$.

Оскільки $D(z) = \frac{U(z)}{E(z)}$, те

$$U(z) = K_0 \sim E(z) + K_1 \sim E(z) b_1 \sim z^{-1} - U(z) a_1 \sim z^{-1}.$$

Переходячи в область решіткових функцій, одержуємо сигнал на виході цифрового регулятора:

$$u[n] = K_0 \sim \varepsilon[n] + K_1 \sim b_1 \sim \varepsilon[n-1] - a_1 \sim u[n-1]. \quad (4)$$

Останній вираз дозволяє скласти алгоритм роботи ЦСП, а також програму для мікропроцесора й подати регулятор у вигляді рекурсивного фільтра, що входить до складу ЦСП (рис. 3).

Оцінимо стійкість регулятора. Для цього необхідно виконання умови:

$$a_1 \sim < 1 \text{ або } \frac{1 - e^{-\alpha h}}{\alpha h (1 - e^{-\alpha h})} < 1.$$

Використовуючи розкладання функції $e^{-\alpha h}$ у ряд Лорана й обмежившись першими чотирьома членами, одержимо наближений інженерний критерій стійкості регулятора:

$$\alpha h < 3 \text{ або } h < 3/\alpha.$$

Останній вираз еквівалентний виконанню умови:

$$h < 3T_m. \quad (5)$$

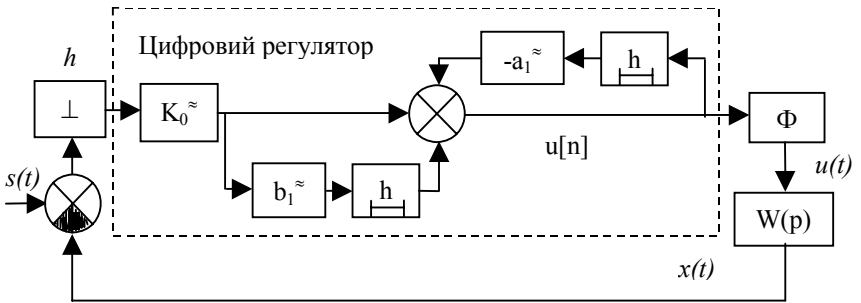


Рис. 3. Спрощена схема ЦСП

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що для підвищення інформаційної ємності вінчестерських накопичувачів необхідна розробка замкнутої по положенню магнітних голівок стежачої системи на основі лінійного двигуна електромагнітного типу постійного струму з постійними магнітами на основі інтерметалевих з'єднань кобальту з рідкоземельними елементами.
2. Отримано схему моделювання ЛД у часовій області, що може бути використана для аналізу систем керування, які містять ЛД, методами простору станів.
3. Встановлено вид і параметри передатної функції цифрового регулятора, що забезпечує граничну швидкодію ЦСП.
4. Для спрощення програмної й апаратурної реалізації прямого мікропроцесорного керування без помітного зниження точності розрахунку ЛД запропоновано подавати ланкою другого порядку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Войтенко В.П., Сорокін А.Ю. Оцінка можливості прямого мікропроцесорного керування прецизійним позиційним електроприводом// Техн. електродинаміка. - Тем.вип. : Системи керування та контролю напівпровідникових перетворювачів. - Київ, 1999. - С. 6-9.
2. Ту Ю. Современная теория управления: Пер. с англ.-М: Машиностроение, 1971. - 472с.