

ЦИФРОВА СИСТЕМА ПІДПОРЯДКОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОЛОЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ІЗ СТАНДАРТНИМИ НАЛАШТУВАННЯМИ КОНТУРІВ

*Приймак Б.І., ст. викладач, к.т.н, До Нгок Лам, студент
кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу*

Вступ. Як відомо, електромеханічні системи (ЕМС) керування положенням мають широке застосування у промисловості. Зокрема, такі системи використовуються у маніпуляторах, роботах, металообробних верстатах, прокатних станах, телескопах, антенах і т.д. На сьогодні промислові системи регулювання положення в основному будуються за принципами підпорядкованого керування. Зокрема комплектний електропривод з контурами регулювання струму та швидкості, що налаштовані відповідно на модульний оптимум (МО) та симетричний оптимум (СО), доповнюється контуром керування положення з налаштуванням регулятора на МО [1]. При цьому сучасні регулятори положення в основному реалізуються на мікропроцесорній елементній базі, зважаючи на відомі переваги такої реалізації [2]. Звідси виникає необхідність в побудові та дослідженні цифрової системи автоматичного регулювання (САР) положення зазначеного вище типу, чому і присвячена дана стаття.

Мета роботи. Метою праці є отримання дискретної передаточної функції зведеного об'єкта керування, дослідження динамічних властивостей та стійкості цифрової електромеханічної системи регулювання положення.

Побудова та дослідження цифрової САР. Структурна схема САР положення представлена на рис.1, де ω , φ – кутові або лінійні швидкість та положення ЕМС; ω^* , φ^* – завдання швидкості та положення; ε – помилка системи; M_H – момент навантаження двигуна; $W_\omega(p)$ – передатна функція

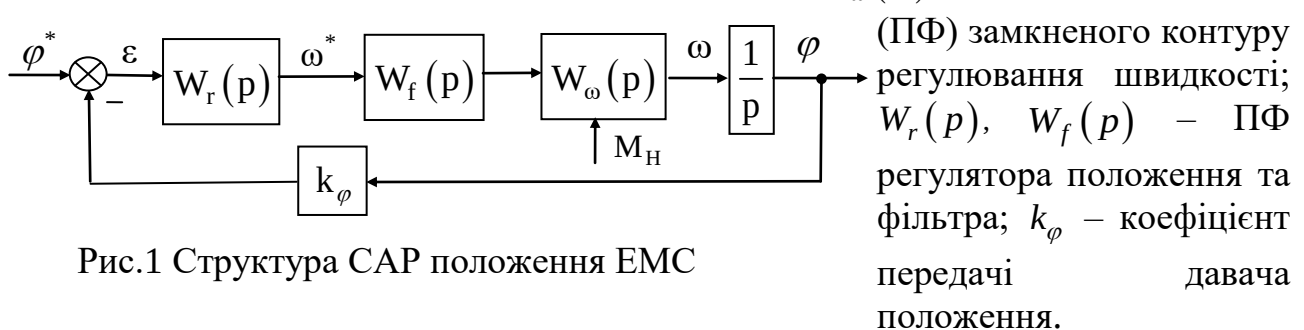


Рис.1 Структура САР положення ЕМС

Якщо контур струму налаштувати на МО, а контур швидкості – на СО, то, згідно з [1], останній в замкнутому стані можна описати ПФ

$$W_\omega(p) = \frac{k_\omega^{-1}(8T_\mu p + 1)}{64T_\mu^3 p^3 + 32T_\mu^2 p^2 + 8T_\mu p + 1}, \quad (1)$$

де T_μ – мала некомпенсована стала часу у контурі струму; k_ω – коефіцієнт передачі давача швидкості. Наявність нуля в ПФ (1) призводить до

перерегулювання в реакції на стрибок завдання біля 43 %. Для його зменшення часто застосовують фільтр 1-го порядку з ПФ

$$W_f(p) = 1/(8T_\mu p + 1). \quad (2)$$

Тоді для налаштування контуру регулювання положення на МО, згідно з [1], ПФ регулятора має бути

$$W_r(p) = k_r, \quad (3)$$

де $k_r = k_\omega / 16T_\mu k_\phi$ – коефіцієнт передачі регулятора.

Структурна схема цифрової системи регулювання положення представлена на рис. 2, де Φ – фіксатор (екстраполятор нульового порядку); T_0 – такт

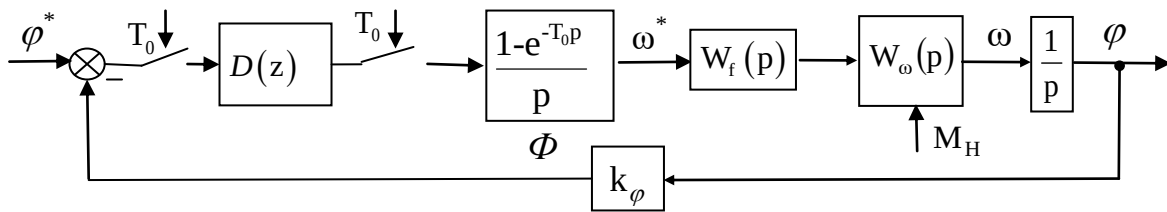


Рис.2 Структура цифрової САР положення ЕМС

квантування; $D(z)$ – дискретна передатна функція (ДПФ) регулятора положення; $z = e^{pT_0}$. У нашому випадку

$$D(z) = k_r. \quad (4)$$

ДПФ зведеного об'єкта керування з урахуванням фіксатора нульового порядку визначиться як

$$W_o(z) = Z \left\{ \frac{1 - e^{-T_0 p}}{p} W_f(p) W_\omega(p) \frac{1}{p} \right\} = k_\omega^{-1} \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{1}{p^2 (4T_\mu p + 1) (16T_\mu^2 p^2 + 4T_\mu p + 1)} \right\}, \quad (5)$$

де $Z\{\bullet\}$ – операція визначення z – перетворення. Подамо вираз в дужках (5) у вигляді суми простих дробів

$$\begin{aligned} \frac{1}{p^2 (4T_\mu p + 1) (16T_\mu^2 p^2 + 4T_\mu p + 1)} &= \frac{-8T_\mu}{p} + \frac{1}{p^2} + \frac{16T_\mu^2}{4T_\mu p + 1} + \frac{64T_\mu^3 p + 16T_\mu^2}{16T_\mu^2 p^2 + 4T_\mu p + 1} = \\ &= \frac{-8T_\mu}{p} + \frac{1}{p^2} + \frac{4T_\mu}{p + \frac{1}{4T_\mu}} + \frac{4T_\mu}{\sqrt{3}} \frac{\frac{\sqrt{3}}{8T_\mu}}{\left(p + \frac{1}{8T_\mu}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{8T_\mu}\right)^2} + 4T_\mu \frac{p + \frac{1}{8T_\mu}}{\left(p + \frac{1}{8T_\mu}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{8T_\mu}\right)^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для (6) використаємо дані таблиць z – перетворень [2]. Тоді дістанемо ДПФ об'єкта керування як

$$W_o(z) = k_{\omega}^{-1} \frac{z-1}{z} \left(\frac{-8T_{\mu}z}{z-1} + \frac{T_0z}{(z-1)^2} + \frac{4T_{\mu}z}{z-a} + \frac{4T_{\mu}}{\sqrt{3}} \frac{zb}{z^2-2zc+a} + 4T_{\mu} \frac{z^2-zc}{z^2-2zc+a} \right),$$

або, після спрощення,

$$W_o(z) = \frac{a_0z^3 + a_1z^2 + a_2z^1 + a_3}{b_0z^4 + b_1z^3 + b_2z^2 + b_3z + b_4}, \quad (7)$$

де

$$b_0 = 3; b_1 = -(3a + 6c + 3); b_2 = 6a + 6c + 6ac; b_3 = -(3a + 3a^2 + 6ac); b_4 = 3a^2;$$

$$a_0 = k_{\omega}^{-1}(3T_0 - 24T_{\mu} + 12T_{\mu}a + 12T_{\mu}c + 4\sqrt{3}T_{\mu}b);$$

$$a_1 = k_{\omega}^{-1}(24T_{\mu} - 12T_{\mu}a - 3T_0a + 24T_{\mu}c - 6T_0c - 36T_{\mu}ac - 8\sqrt{3}T_{\mu}b - 4\sqrt{3}T_{\mu}ab);$$

$$a_2 = k_{\omega}^{-1}(24T_{\mu}a^2 - 12T_{\mu}a + 3T_0a - 36T_{\mu}c + 24T_{\mu}ac + 6T_0ac + 4\sqrt{3}T_{\mu}b + 8\sqrt{3}T_{\mu}ab);$$

$$a_3 = k_{\omega}^{-1}(12T_{\mu}a - 3T_0a^2 - 24T_{\mu}a^2 + 12T_{\mu}ac - 4\sqrt{3}T_{\mu}ab);$$

$$a = e^{-T_0/4T_{\mu}}; b = e^{-T_0/8T_{\mu}} \sin(\sqrt{3}T_0/8T_{\mu}); c = e^{-T_0/8T_{\mu}} \cos(\sqrt{3}T_0/8T_{\mu}).$$

Отже ми отримали ДПФ (7) в аналітичному вигляді, яка може застосовуватися для аналізу та синтезу цифрових САР положення ЕМС. Запишемо ДПФ розімкнутої системи, виходячи із рис.2, (4) та (5). Матимемо

$$W(z) = k_r W_o(z) k_{\phi}. \quad (8)$$

Тепер, враховуючи (7) та (8), отримаємо ДПФ замкнутої системи

$$W_s(z) = \frac{k_r W_o(z)}{1 + W(z)} = \frac{k_r (a_0z^3 + a_1z^2 + a_2z^1 + a_3)}{b_0z^4 + (b_1 + k_r k_{\phi} a_0)z^3 + (b_2 + k_r k_{\phi} a_1)z^2 + (b_3 + k_r k_{\phi} a_2)z + (b_4 + k_r k_{\phi} a_3)}. \quad (9)$$

Запишемо також характеристичне рівняння цифрової замкнутої системи, яке нам пригодиться нижче при дослідженні стійкості. Це рівняння отримаємо, прирівнявши знаменник (9) до нуля

$$H(z) = b_0z^4 + (b_1 + k_r k_{\phi} a_0)z^3 + (b_2 + k_r k_{\phi} a_1)z^2 + (b_3 + k_r k_{\phi} a_2)z + (b_4 + k_r k_{\phi} a_3) = 0. \quad (10)$$

Для оцінювання динамічних властивостей цифрової САР слід вибрати такт квантування T_0 . Скористаємося для цього методом, що базується на теоремі Котельникова-Шенона [2]. Згідно з ним такт квантування визначається за формулою

$$T_0 \leq \pi/3\omega_0, \quad (11)$$

де частота ω_0 визначається за амплітудно-частотною характеристикою $A(\omega)$ розімкнутої неперервної системи з рівняння $A(\omega_0) = 0,1$. В системі MATLAB зручно будувати логарифмічні амплітудно-частотні характеристики (ЛАХ) ланок та систем автоматичного керування. В логарифмічному масштабі умова визначення ω_0 матиме вигляд $\lg A(\omega_0) = -20 \text{ дБ}$. Побудувавши ЛАХ для

$W(p) = k_r k_\varphi W_f(p) W_\omega(p) p^{-1}$ при $T_\mu = 0,01 \text{ с}$, маємо $\omega_0 = 30 \text{ с}^{-1}$. Тепер за (11) отримаємо рекомендоване значення такту квантування $T_0 = 0,03 \text{ с}$.

Для оцінювання динамічних властивостей проведемо моделювання замкнутих неперервної та дискретної САР положення ЕМС. На рис. 3 представлені перехідні функції систем при стрибкоподібному завданні $\varphi^* = 1 \text{ рад}$, де крива 1 відповідає неперервній, а крива 2 – дискретній САР. Порівнюючи ці криві, можна зазначити, що розбіжність між ними є невеликою.

Далі були проведені розрахунки залежності рекомендованого значення $T_0 = f(T_\mu)$ за описаною вище методикою, що ґрунтується на теоремі Котельникова-Шенона. Отримана залежність представлена на рис. 4 (крива 1).

Наступним кроком було дослідження стійкості замкнутої цифрової САР положення. Тут застосовувався кореневий метод визначення стійкості. Згідно з цим методом, дискретна САР n -го порядку буде стійкою, якщо всі корені z_i її характеристичного рівняння будуть $|z_i| < 1$, ($i = \overline{1, n}$). Розв'язуючи рівняння (10) була отримана залежність максимально допустимого в стійкій дискретній системі значення T_0 від T_μ , яка представлена на рис. 4 (крива 2).

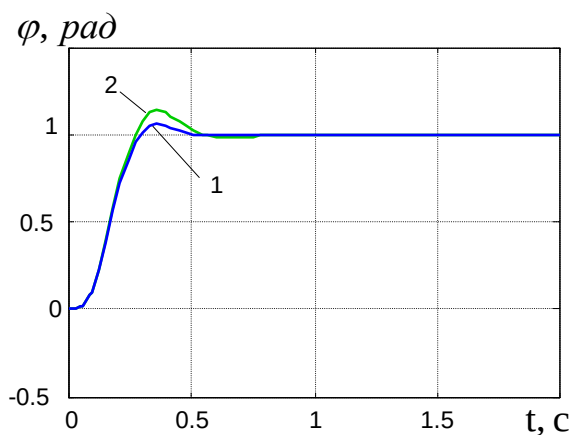


Рис. 3 Перехідні процеси в неперервній та дискретній системах

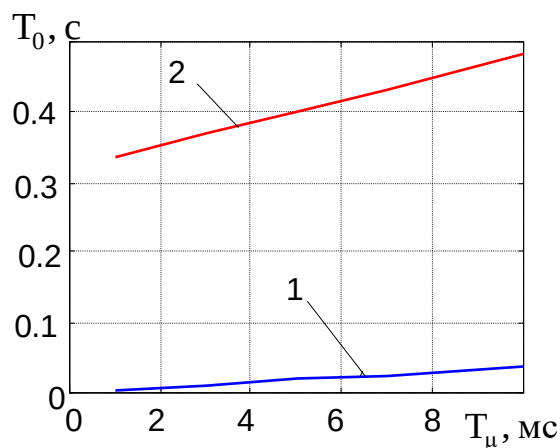


Рис. 4 Залежності такту квантування дискретної САР від T_μ

Підсумки. Для замкнутого за швидкістю електроприводу підпорядкованої структури при стандартних налаштуваннях контурів отримано ДПФ в аналітичному вигляді, яка може застосовуватися для аналізу та синтезу цифрових САР положення ЕМС. Досліджено перехідні процеси та отримано залежності для рекомендованого та максимально допустимого з умови стійкості дискретної САР такту квантування від малої сталої часу у контурі струму.

Література

1. Ключев В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов : учебник для вузов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М. : Энергия, 1980. – 360 с.
2. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування : підруч. для студ. вищ. техн. навч. закл. / М.Г.Попович, О.В. Ковальчук. – К. : Либідь, 2007. – 656 с.