

О.Ф. ЄНІКЄЄВ, канд. техн. наук, УкрДАЗТ, *Ф.М. ЄВСЮКОВА*,
Л.О. ШИШЕНКО, канд. техн. наук, НТУ «ХП», м. Харків

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАМКНЕНОГО КАНАЛА УПРАВЛІННЯ ПОЗДОВЖНЬЮ ПОДАЧЕЮ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА

На основі дискретного перетворення Лапласа синтезовано замкнений канал для управління поздовжньою подачею шліфувального круга. Розроблений канал задовольняє вимогам системи по координатного управління шліфувальними верстатами по точності й швидкодії.

На основе дискретного преобразования Лапласа синтезирован замкнутый канал для управления продольной подачей шлифовального круга. Разработанный канал удовлетворяет требованиям системы управления шлифовальными станками по точности и скорости по каждой координате.

On the basis of a discrete Laplace transformation the closed channel for control by stride of a wheel is synthesized. The designed channel meets the requirements of a control system of grinders on an exactitude and speed on each coordinate.

Вступ. Впровадження в машинобудівне виробництво України сучасних інформаційних й енергозберігаючих технологій базується на розробці технічних засобів автоматизації технологічних процесів та, зокрема, алмазного шліфування. Шліфувальні верстати при обробці деталей використовують у якості приводних механізмів двигуни постійного і змінного струмів, які є енергоємними об'єктами управління. Скорочення часу обробки шліфувальними верстатами деталей при збереженні заданих показників якості їхніх оброблених поверхонь знижує відсоток недоліку й дає підприємству істотну економію електричної енергії [1].

Розробка математичної моделі. При розробці технічних засобів для автоматизації процесів алмазного шліфування використається принцип поординатного управління верстатами [2]. В основу розробки замкненого каналу для управління поздовжньою подачею шліфувального кола покладено принцип управління за відхиленням. Структурна схема цього каналу представлена на рис. 1. Виконаємо аналіз структурної схеми з метою одержання виразу для передатної функції каналу.

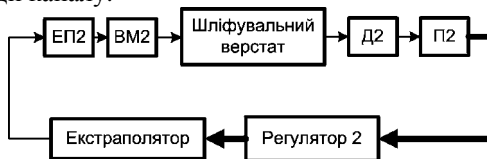


Рис. 1 – Структурна схема каналу

Поточне значення поздовжньої подачі шліфувального круга обчислюється цифровим регулятором 2 за допомогою такого виразу

$$S_{np} = \frac{l}{t_1},$$

де l - довжина заготівлі, t_1 - час виконання навкруги одного проходу.

Довжина заготівлі визначається заздалегідь шляхом безпосередніх вимірів і вводиться до пам'яті регулятора 2, отже, для визначення величини S_{np} треба виміряти t_1 . Початок і кінець проходу шліфувального круга фіксуємо кінцевими вимикачами. Блок П2 виконує процедуру дискретизації за часом імпульсу, тривалість якого визначається моментами спрацьовування цих вимикачів. Вихідний код блоку П2 фіксує цифровий регулятор 2. Специфіка роботи вхідного модуля каналу дозволяє подати його пропорційною ланкою із запізненням

$$H_1(p) = k_{П2} e^{-p\tau_{П2}}, \quad (1)$$

де $k_{П2}, \tau_{П2}$ - коефіцієнт передачі й запізнення блоку П2.

З урахуванням смуги (Δ_3) нечутливості первинного перетворювача маємо таку передатну функцію вхідного модуля каналу

$$H_1(p) = \Delta_3 k_{П2} e^{-p\tau_{П2}}. \quad (2)$$

Похибка дискретизації аналогового сигналу цим модулем знаходить своє кількісне вираження в нестабільності його вихідного коду. На рис. 2 подана гістограма розкиду вихідного коду. Основні статистичні параметри розподілу похибки такі

$$\bar{X} = 0; \quad \sigma = 0.036142; \quad A = 0; \quad E = -0.504.$$

Гістограма розкиду вихідного коду після виконання процедури згладжування описана трикутним законом розподілу. Рівняння згладженої кривої має вигляд

$$f(x) = \frac{1}{2\sigma} e^{-\frac{|x|}{\sigma}} \quad x \in (-0.1, 0.1). \quad (2)$$

Для отриманого закону розподілу похибки досліджуемого модуля його ентропійний інтервал невизначеності становить

$$\Delta_3 = \sigma e^{\frac{1}{\sigma}} = 0.036142.$$

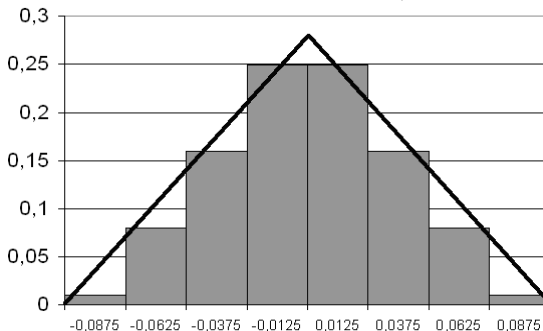


Рис. 2 – Гістограма розкиду вихідного коду блоку П2

Вихідний сигнал екстраполятору нульового порядку є східчастим. Тоді передатна функція такого пристрою має вигляд [3]

$$H_2(p) = \frac{1 - e^{-p\tau_r}}{p}. \quad (3)$$

Регулятор 2 побудуємо на базі мікроконтролера, та подаємо в вигляді такої моделі [3]

$$H_3(p) = \frac{1}{\tau_r} (1 - e^{-p\tau_r}). \quad (4)$$

Передатна функція блоків ЕП2 й ВМ2 отримана такому вигляді

$$H_4(p) = \frac{k_M T_{k1} k_{П2} \tau_r p}{(\tau_{П2} p + 1)(a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0)}. \quad (5)$$

Блоки П2, Р2 й ЕП2 вносять запізнювання в роботу каналу. Будемо вважати, що дискретний час запізнювання каналу по управляючому впливу, який дорівнює сумі запізнювань зазначених блоків, становить $2T_0$. Відповідно порядок математичної моделі розглянутого каналу становить $d=3$. З урахуванням цього запізнювання дискретна передатна функція замкненого каналу для управління поздовжньою подачею шліфувального круга набуває такого вигляду

$$H_5(z^{-1}) = z^{-2} \frac{b_0^\circ + b_1^\circ z^{-1} + b_2^\circ z^{-2} + b_3^\circ z^{-3}}{1 + a_1^\circ z^{-1} + a_2^\circ z^{-2} + a_3^\circ z^{-3}} = z^{-2} \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})}. \quad (6)$$

В основу розробки цифрового регулятора 2 покладено принцип його синтезу на базі еталонної моделі замкненого каналу. Закон управління цифрового регулятора в системах з еталонною моделлю має такий вигляд

$$D(z^{-1})U_t = H(z^{-1})G_t - F(z^{-1})y_t, \quad (7)$$

де G_t - вхідний вплив каналу в момент $t = nT_0$ часу;

$D(z^{-1}), H(z^{-1}), F(z^{-1})$ - поліноміальні вирази щодо оператора зрушення.

Синтез цифрового регулятора 2 зведено до визначення параметрів поліномів $D(z^{-1}), H(z^{-1})$ і $F(z^{-1})$ таким чином, щоб замкнений контур був стійким. В умовах неповної інформації синтез регулятора виконаємо на основі мінімізації квадратичного критерію оптимальності [3]

$$J = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{\infty} [y_i^2 - P_1 U_i^2]. \quad (8)$$

Полином $R_1(z^{-1})$ визначає динаміку перехідного процесу основного контуру цифрового регулятора при усуненні помилки неузгодженості. Оскільки величиною помилки $\varepsilon_{\text{дон}}$ можна задатися, а величина Δ_3 вже визначена, то поліном $R_1(z^{-1})$ набуває такий вигляд

$$R_1(z^{-1}) = \frac{\Delta_3 k_M z^{-1} [1 - T_M + (T_M - l_4) z^{-1}]}{\varepsilon_{\text{дон}}} \quad (9)$$

Полином $H(z^{-1})$ має вигляд

$$H(z^{-1}) = z^{-3} (h_0 + h_1 z^{-1} + h_2 z^{-2} + h_3 z^{-3}), \quad (10)$$

$$\text{де } h_0 = \frac{\Delta_3 k_M (1 - T_M)}{\varepsilon_{\text{дон}}} b_0^\circ, \quad h_1 = \frac{\Delta_3 k_M [(1 - T_M) b_1^\circ + b_0^\circ (T_M - l_4)]}{\varepsilon_{\text{дон}} a_1^\circ},$$

$$h_2 = \frac{\Delta_3 k_M [(1 - T_M) b_2^\circ + b_1^\circ (T_M - l_4)]}{\varepsilon_{\text{дон}} a_2^\circ}, \quad h_3 = \frac{\Delta_3 k_M [(1 - T_M) b_3^\circ + b_2^\circ (T_M - l_4)]}{\varepsilon_{\text{дон}} a_3^\circ}.$$

Полином $F(z^{-1})$ отримано у такому вигляді

$$F(z^{-1}) = f_0 + f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2}, \quad (11)$$

$$\text{де } f_0 = 1, \quad f_1 = \frac{a_1^\circ + 1}{a_1^\circ}, \quad f_2 = \frac{a_1^\circ a_2^\circ + a_1^\circ + a_2^\circ}{a_1^\circ a_2^\circ}.$$

Полином $D(z^{-1})$ отримано у наступному вигляді

$$D(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + g_2 z^{-2}, \quad (12)$$

де його коефіцієнти мають такі значення

$$g_0 = \frac{b_0^\circ}{a_0^\circ}, \quad g_1 = \frac{b_1^\circ - \frac{b_0^\circ a_1^\circ}{a_0^\circ} + \frac{b_0^\circ (a_1^\circ + 1)}{a_1^\circ}}{a_0^\circ},$$

$$g_2 = \frac{b_2^\circ + \frac{b_1^\circ (a_1^\circ + 1)}{a_1^\circ} + \frac{b_2^\circ (a_1^\circ a_2^\circ + a_1^\circ + a_2^\circ)}{a_1^\circ a_2^\circ} - \frac{b_0^\circ a_2^\circ}{a_0^\circ} - a_1^\circ \left[b_1^\circ - \frac{b_0^\circ a_1^\circ}{a_0^\circ} + \frac{b_0^\circ (a_1^\circ + 1)}{a_1^\circ} \right]}{a_0^\circ}.$$

Передатна функція регулятора 2 отримана в такому вигляді

$$H_{\text{omm}}(z^{-1}) = \frac{H(z^{-1})B(z^{-1})}{b_0^\circ A(z^{-1}) + D(z^{-1})B(z^{-1})}. \quad (13)$$

Після підстановки коефіцієнтів поліномів $A(z^{-1})$, $B(z^{-1})$, $D(z^{-1})$ і $F(z^{-1})$ у вираз (13) і перетворень маємо

$$H_{\text{omm},2}(z^{-1}) = \frac{0.04752 + 0.862z^{-1} - 0.823z^{-2}}{0.374 - 0.374z^{-1}}. \quad (14)$$

За виразами (6), (9), (10), (11), (12) і (14) зібрана імітаційна модель каналу (рис. 3). Графік вихідного сигналу каналу подано на рис. 4.

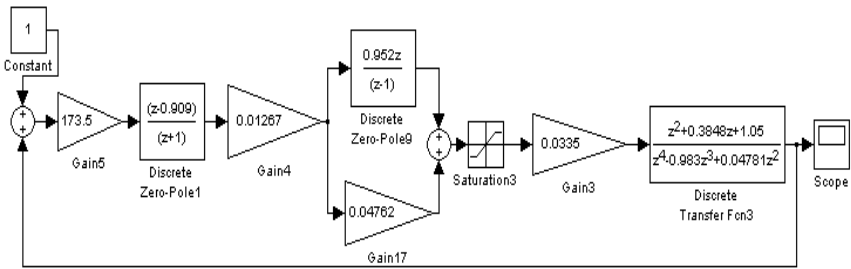


Рис. 3 – Імітаційна модель

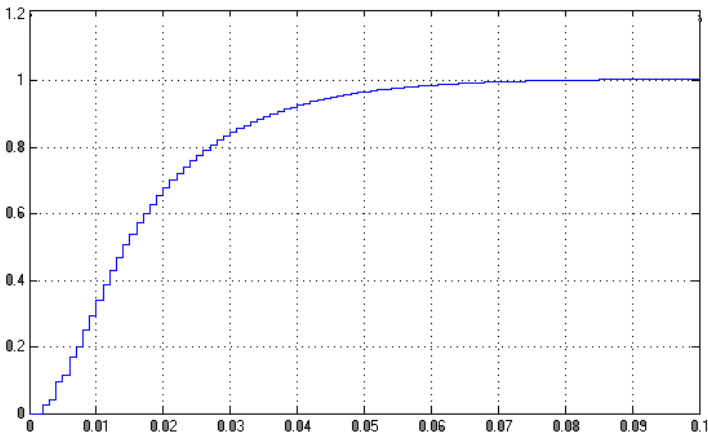


Рис. 4 – Графік вихідного сигналу каналу

Висновок. На підставі аналізу графіка маємо підвищення швидкодії замкненого каналу завдяки цифровому регулятору 2. Так само проглядається невелика похибка перерегулювання на початку перехідного процесу, яка після закінчення деякого часу стає нульовою. У цілому розроблений канал задовольняє вимогам системи покоординатного управління шліфувальними верстатами по точності й швидкодії.

Список літератури: 1. Рубашкин И.Б., Алешин А.А. Микропроцессорное управление режимом металлообработки. – Л.: Машиностроение, 1989. – 160 с. 2. Еникеев А.Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 160 с. 3. Романенко В.Д., Игнатенко Б.В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ: Учебное пособие. – К.: Вища шк., 1990. – 334 с.

Поступила в редколлегию 15.04.10