

---

УДК 678.067.5

М. І. ВЕРХОЛА

## **МОДЕЛІ ДИНАМІКИ ЛИСТОРІЗАЛЬНИХ МАШИН З САП ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ РІЗУ**

Розробка систем автоматичного переналагодження (САП) листорізальних ротаційних машин вимагає їх всестороннього аналізу. Такі системи повинні не тільки поліпшувати динаміку машини, але й забезпечувати високу точність форматів, отримуваних при розрізці стрічки на всьому діапазоні швидкостей, від заправочної до номінальної.

До складу САП листорізальних машин входять двигуни  $M_1$  і  $M_2$ , які приводять до руху мірний циліндр МЦ і барабан ножа БН. Мірний циліндр у парі з прижимним валиком розмотує стрічку з ролону і подає її в механізм різання. Механізм різання складається з нерухомого ножа і рухомого барабана з закріпленням на цьому ножі.

Система автоматичного переналагодження працює таким чином [2]. Швидкості двигунів  $M_1$  і  $M_2$  вимірюються імпульсними датчиками. Сигнали з їх виходів поступають через лічильники-перетворювачі послідовності імпульсів у код на входи блоків пам'яті. Інформація на виході блоків пам'яті міняється з певним періодом  $T_3$ , що задається блоком формування синхроімпульсів, який управляє лічильниками і блоками пам'яті.

Швидкість двигуна  $M_1$  виражена на виході першого блока пам'яті у вигляді двійкового коду  $N_1$  й ділиться в блоці ділення на число  $K_0$ , яке виражене також у двійковому коді і за допомогою якого задається необхідне співвідношення швидкостей двох двигунів, а відповідно, й необхідний формат. Сигнал з виходу блока ділення  $N_3 = N_1/K_0$  через цифроаналоговий перетворювач (код-напруга) подається на вхід підсилювача і далі на регулятор швидкості двигуна  $M_2$ . Одночасно сигнал  $N_3$  надходить на вхід суматора, де алгебраїчно сумується з сигналом  $N_2$ , який виражає швидкість двигуна  $M_2$ . Результуючий сигнал  $\Delta N = N_3 - N_2$  надходить через перетворювач код-напруга також на вхід підсилювача, де сумується із сигналом, що надходить від блока ділення. Два сигнали надходять на один підсилювач, однак, якщо пропустити їх через змінні потенціометри, можна отримати різні оптимальні коефіцієнти підсилення по кожному каналу.

Вважаємо, що двигуни постійного струму мають динамічну механічну характеристику, яка описується рівнянням (3)

$$M_{дi} = (\omega_{зi} - \omega_{дi}) \beta - L_{яi} \cdot c_i \cdot dM_{дi} / dt, \quad (1)$$

де  $\omega_{зi}$  — задана стала кутова швидкість;  $\omega_{дi}$  — кутова швидкість двигуна;  $M_{дi}$  — рушійний момент електродвигуна;  $\beta_i$  — жорсткість механічної характеристики двигуна.

Мірний циліндр і прижимний валик разом зі своїм приводом створюють подаючу секцію, а механізм різання з індивідуальним електроприводом — різальну секцію.

Технологічні моменти та моменти сил вязкого тертя у секціях вважаємо пропорційними відповідним кутовим швидкостям

$$M_{ci} = \alpha_i \cdot \omega_i, \quad (2)$$

де  $\alpha_i$  — коефіцієнт, що враховує сили тертя і технологічних навантажень.

Тоді рівняння руху електропривода відповідної секції набере вигляду

$$M_{дi} - M_{ci} = I_{дi} d\omega_i / dt + \alpha_i \omega_i, \quad (3)$$

де  $I_{дi}$  — зведений момент інерції електропривода секції;  $M_{дi}$  — сумарний момент сил опору окремих механізмів, приведений до валу двигуна.

На базі наведених вище рівнянь розроблена структурна схема моделі системи автоматичного переналагодження для визначення точності різу (рис. 1).

Запишемо залежності між вихідними й вхідними змінними ланок системи в оперативній формі. При живленні від джерела напруги двигун з незалежним збудженням працює з постій-

ним магнітним потоком. З урахуванням цього рівняння механічної характеристики двигунів  $M_1$  і  $M_2$  запишемо так:

$$M_0 = \frac{\beta_0}{T_0 s + 1} (\omega - \omega_0), \quad (4) \quad M_1 = \frac{\beta_1}{T_1 s + 1} (\omega_0 - \omega_1), \quad (5)$$

де  $T_0$  і  $T_1$  — електромагнітні сталі часу двигунів.

Виходячи із рівняння (3), визначимо кутові швидкості двигунів

$$\omega_0 = (M_0 - M_3) / (J_0 s + \alpha_0), \quad (6)$$

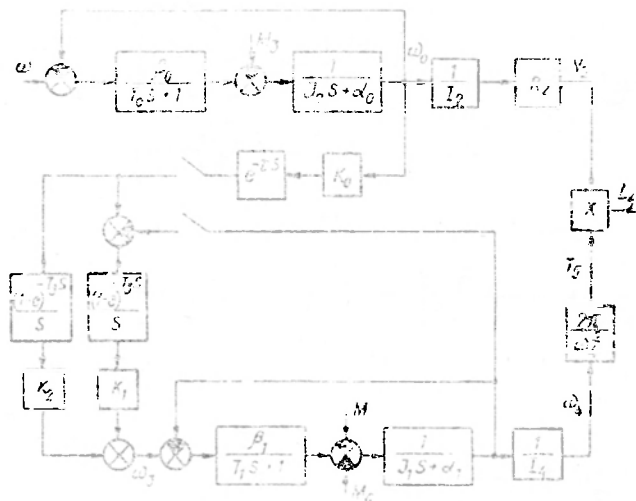


Рис. 1. Структурна схема моделі динаміки САП листорізьної машини.

де  $M_3$  — сумарний гальмівний момент, який створюється на рудонах, приведених до валу двигуна  $M_1$ ,

$$\omega_1 = (M_1 - M_4) / (J_1 s + \alpha_1), \quad (7)$$

де  $M_4$  — момент, що створюється на осі барабана ножа гальмівним шківом, приведений до валу двигуна  $M_2$ .

В механізмі різання розрізання стрічки здійснюється по тилу ножиць. Кут  $A$  повороту барабана ножа, протягом якого проходить перерізування стрічкового матеріалу, залежить від ширини стрічки і визначається таким чином:

$$A = B \cdot A_{\max} / B_{\max}, \quad (8)$$

де  $B$  — ширина стрічки, що перерізається;  $A$  — кут повороту барабана при перерізанні стрічки максимальної ширини. Для

листорізальних ротаційних машин типового ряду ЛР1-120—ЛР4-120,  $A_{\max} = 9^\circ$ ,  $B_{\max} = 120^\circ$ . З урахуванням цього кутова швидкість двигуна  $M_2$  у процесі перерізання буде визначатися таким рівнянням:

$$\omega_1 = (M_1 - M_4 - M_5) / (I_1 s + \alpha_1), \quad (9)$$

де  $M_5$  — це імпульсний гальмівний момент, який виникає у момент різання.

На основі рівнянь (4÷9) і структурної схеми САП побудована цифрова модель динаміки листорізальної машини з систе-

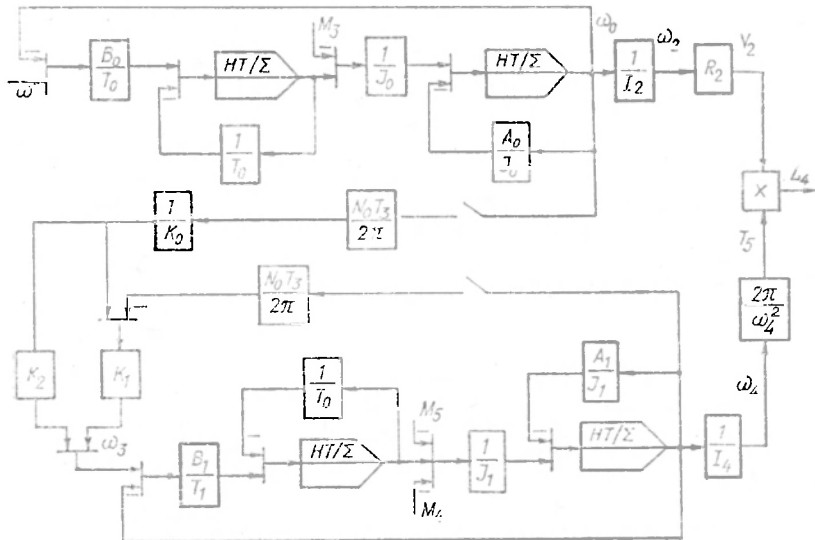


Рис. 2. Цифрова модель динаміки САП для визначення точності різання.

мою автоматичної переналадки для визначення точності різання форматів (рис. 2).

Швидкості двигунів  $M_1$  і  $M_2$  (аналогові величини) за допомогою імпульсних датчиків і лічильників перетворюються у дискретні послідовності чисел  $N_1$  і  $N_2$ , які визначаються за формулами

$$N_1 = N_0 \omega_{10} T_3 / 2 \pi, \quad (10)$$

$$N_2 = N_0 \omega_{21} T_3 / 2 \pi, \quad (11)$$

де  $N_0$  — це кількість імпульсів, яка отримується на виході імпульсного датчика за один оберт двигуна;  $T_3$  — період квантування (циклу).

Послідовність чисел  $N_1$ , виражена у двійковому коді, подається на вхід блока ділення з періодом  $T_3$ . У блоці ділення вона

перетворюється відповідно до закладених там алгоритмів у синхронну послідовність чисел  $N_3$ , тільки вже із запізненням  $\tau$ , яке визначається часом обробки інформації. Оскільки  $\tau$  значно менше від  $T_3$ , запізненням при моделюванні можна знехтувати і вважати, що величини  $N_2$  і  $N_3$  з'являються одночасно, в момент часу  $(nT)$ , де  $n = 1, 2, 3 \dots$

Цифроаналоговий перетворювач, який виконує роль демодулятора, описується на структурній схемі передаточною функцією  $W = (1 - e^{-Ts})/s$ . В цифровій моделі ЦАП можна розглядати як безінерційну ланку, оскільки реакція такого демодулятора, як видно із передаточної функції, співпадає із реакцією ЦАП на окреме число й дорівнює одиниці.

Отже, задаюча кутова швидкість для двигуна  $M_2$  визначається таким чином:

$$\omega_3 = N_3 \cdot K_2 + (N_3 - N_2) \cdot K_1, \quad (12)$$

де  $K_2$  і  $K_1$  — коефіцієнти підсилення псевдоаналогової і цифрової частин САП, які враховують коефіцієнти передачі ЦАП, підсилювача і регулятора швидкості.

Покажемо, як на основі цифрової моделі САП листорізальної машини визначається точність різання. Швидкість  $V_2$  стрічки, що розмотується з рулона і подається в механізм різання мірним циліндром, визначається за формулою:

$$V_2 = R_2 \cdot \omega_0 / I_2, \quad (13)$$

де  $R_2$  — радіус мірного циліндра;  $I_2$  — передатне число від вала двигуна  $M$  до осі мірного циліндра.

В механізмі різання стрічка перерізається рухомих ножом, який закріплений на барабані на відповідні задані формати. За один оберт барабана відбувається один різ. Період обертання барабана ножа можна знайти таким чином:

$$T_5 = 2\pi / \omega_1 \cdot I_4, \quad (14)$$

де  $I_4$  — передатне число від вала двигуна  $M_2$  до осі барабана ножа.

Визначимо довжину  $L_4$  стрічки (формату), яка буде відрізатися у листорізальній машині

$$L_4 = V_2 \cdot T_5. \quad (15)$$

Із врахуванням наведених вище формул точність різку  $L_5$  буде визначатися таким чином:

$$L_5 = L_4 - L_3 = \Delta L. \quad (16)$$

На базі цифрової моделі системи автоматичного переналагодження і формул (4÷16) розроблена програма, яка дає змогу робити аналіз точності САП в динаміці. Для складання програ-

ми використовувалися підпрограми цифрових моделей типових ланок (1).

Після вводу програми в ЕОМ і її відладки, перевірки адекватності цифрової моделі і вихідного математичного опису були проведені дослідження моделі САП з виводом результатів на друк.

Отримані залежності точності різання від довжини формату, швидкості проводки стрічки.

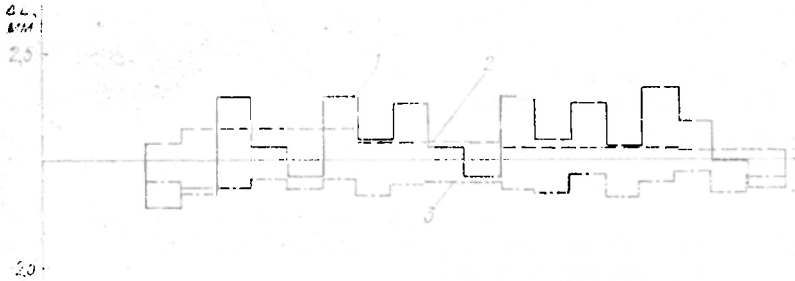


Рис. 3. Залежності точності різання від кутової швидкості головного двигуна:

1 — заправочна швидкість 20 рад/с; 2 — 80 рад/с; 3 — номінальна швидкість 160 рад/с.

На рис. 3 показані залежності точності різання для середнього формату  $L_3=0,92$  м від трьох кутових швидкостей. Як видно з графіків, із зменшенням кутової швидкості точність різання знижується.

Розроблена програма дає можливість отримати залежності точності різання від  $N_0$  кількості імпульсів на виході імпульсного датчика при одному оберті двигуна. Крім цього, можна визначити, як впливають на точність розрізки стрічкового матеріалу на машині САП геометричні розміри, кінематика машини, ударний момент  $M_5$ , коефіцієнт  $a_0$ , який враховує тертя і технологічні нагрузки, момент інерції тощо.

Аналіз залежностей, які можна отримати за допомогою розробленої програми, дає змогу проектувати листорізальні машини з оптимальними геометричними розмірами, кінематичними даними і динамічними властивостями.

1. Ажогин В. В., Згуровский М. З. Моделирование на цифровых аналоговых и гибридных ЭВМ. К., 1983. 2. Верхола М. И., Вязовский Б. А., Турчак Н. М., Стренко И. Т. Устройство для управления барабаном реза листа резальной ротационной машины: А. с. № 1489867 (СССР) // Бюл. изобр. 1989. № 24. 3. Ключев В. Н. Теория электропривода. М., 1985.

Стаття надійшла до редколегії 24.01.90